ANDREA GENTILE

LA SCIENZA SOTTO L'OMBRELLONE

codice

EDIZIONI

La scienza sotto l'ombrellone

Andrea , Gentile

ANDREA GENTILE

LA SCIENZA SOTTO L'OMBRELLONE

codice

EDIZIONI

APPROFONDIMENTI E CURIOSITÀ

IL DESTINO DELLE SPIAGGE CON IL CAMBIAMENTO CLIMATICO
COME SI FORMANO LE DUNE?
PERCHÉ IL VENTO SI MISURA IN NODI
LA ROSA DEI VENTI
UN TEMPORALE ESTIVO ALL'IMPROVVISO
QUANDO ARRIVANO LE STELLE CADENTI
CI SONO URAGANI NEL MEDITERRANEO?
I FULMINI IN SPIAGGIA
PERCHÉ LA PLASTICA DURA COSì TANTO

INTRODUZIONE

Ogni volta che penso alla spiaggia di quando ero bambino, mi vengono in mente gli anni novanta, la costa toscana e un concorso di castelli di sabbia. Da ragazzino adoravo costruire fossati e torri e abbellirli con manciate di sabbia bagnata fatta scivolare dal pugno per formare elaborati ghirigori sempre diversi. Volando con la fantasia, progettavo complicate strutture a più piani, che quasi mai si rivelavano all'altezza dell'immaginazione, ma che comunque mi tenevano impegnato per ore disteso sulla sabbia, sotto il sole. Peccato che fossi un bambino che rischiava di scottarsi facilmente. Naso e zigomi imbiancati di crema solare, trascorrevo più tempo all'ombra a leggere fumetti oppure, inforcati gli immancabili occhialetti, immerso sott'acqua, preso da un affascinante mondo subacqueo in cui suoni e colori erano così strani rispetto alla superficie.

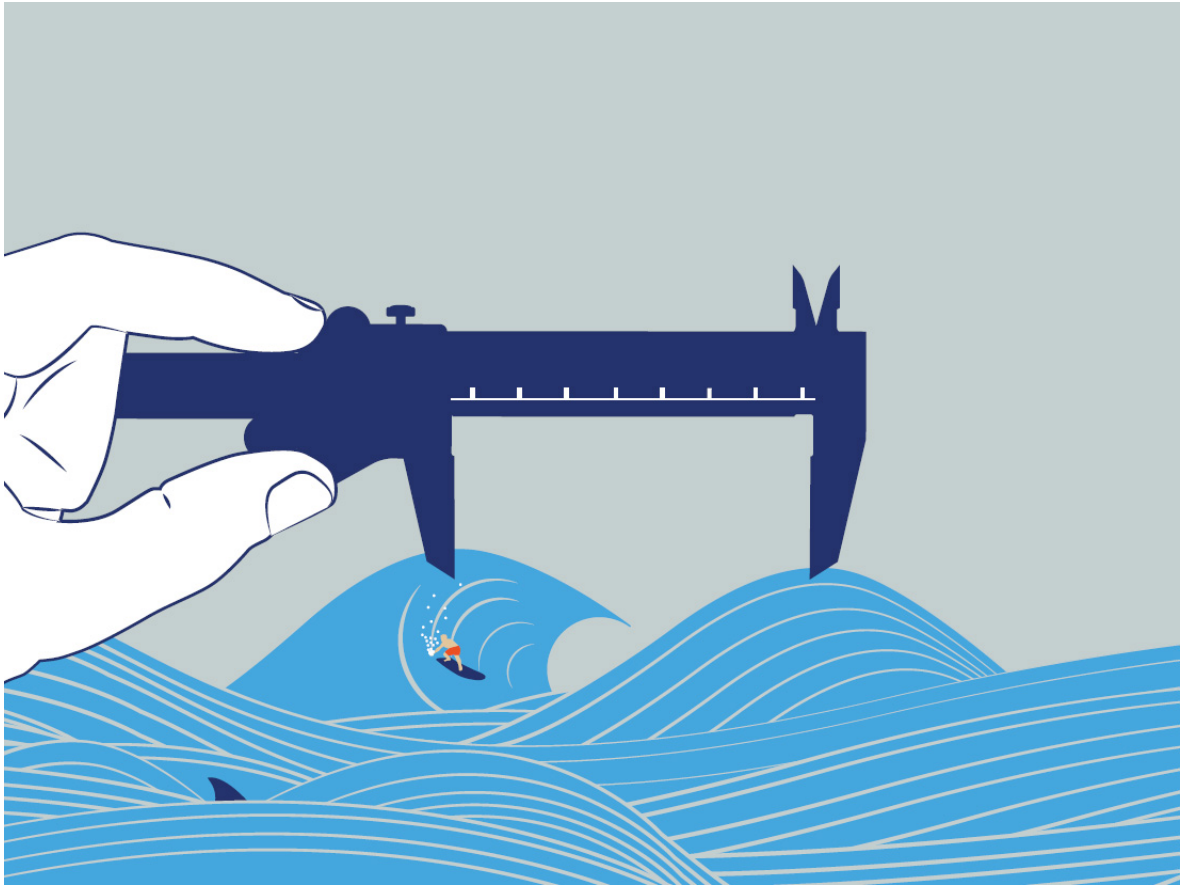
È da questi ricordi che nasce questo libro: arriva da lontano, da quelle spiagge, da quella curiosità infantile che non è mai sazia di sapere, di conoscere ciò che non comprende ancora. Da quei perché chiesti con avidità, un po' per passare il tempo, un po' per capire come va il mondo. La fortuna sono stati i miei genitori, che con la scienza hanno sempre avuto a che fare. Grazie alle loro risposte mi aprirono un mondo fatto di regole, di causa ed effetto, di fisica, medicina, chimica e biologia. Un mistero scientifico si nasconde dietro ogni aspetto della vita di tutti i giorni, ma è in vacanza, tanto pieni di ozio da rendere la noia forte motivazione a conoscere, che si è più curiosi. Ed è proprio alle curiosità nate in spiaggia che è dedicato questo libro. Piccole finestre su un universo misterioso che non dovete necessariamente seguire dalla prima all'ultima pagina. Andate dove vi portano le onde, perché ci sarà sempre tempo per tornare avanti e indietro da un

argomento all’altro, seguendo il filo che preferirete. Il quadro che vi si presenterà avrà come riferimento quattro sezioni (fisica, chimica, biologia e ambiente), ma non fatevi ingannare da questa pratica distinzione: ogni capitolo avrà suggestioni dalle diverse discipline.

Prendete questo libro come una bella giornata trascorsa in spiaggia. Nella parte di fisica arriveremo sul litorale e faremo subito un bel bagno in mare: scopriremo il mondo delle onde e il segreto del morto a galla, perché le nostre percezioni sono diverse sott’acqua e come sfuggire a una corrente. Una volta usciti, sarà il momento di provare a costruire un castello di sabbia perfetto.

Troppo sole però fa male, quindi meglio ripararsi all’ombra, tra gli elementi chimici, e indagare il funzionamento delle creme solari e la formazione delle conchiglie. Metteremo l’acqua di mare sotto il microscopio per sapere perché sia salata e quanto sia pulita, daremo qualche consiglio per quando ci punge una medusa e sveleremo se al mare si respiri davvero lo iodio.

Dopo un pranzo veloce, inganneremo l’attesa prima di fare un nuovo bagno, ripassando un po’ di biologia: il tempo passerà in fretta, rivelando i trucchi di un’abbronzatura perfetta (e sicura) e perché non possiamo bere l’acqua di mare. Finalmente sarà ora di tuffarsi di nuovo, esplorando la vita e le profondità marine. Scendendo verso il fondale, osserveremo come cambia il nostro corpo in immersione.

Tornati in superficie, ci aspetta la parte dedicata all’ambiente, dove assisteremo alla nascita e alla trasformazione di una spiaggia sotto l’effetto di venti e tempeste. Dopo la burrasca, un po’ di riposo: ci sdraieremo a guardare il cielo, per riconoscere tutte le nuvole che passano. Per allora si sarà fatta sera: sarà ora di abbandonare la spiaggia, lasciandola immacolata e senza rifiuti. Infine ci guarderemo indietro e adocchieremo per caso una stella cadente, augurandoci che il tempo trascorso tra queste pagine sia stato piacevole.

LE ONDE

Anche a occhi chiusi, basta tendere l'orecchio e sappiamo che sono lì. Con un lento sciabordio o un rumoroso scrosciare, le onde ci ricordano sempre quanto sia dinamica una spiaggia. Ma da dove vengono le onde? Perché alcune volte il mare sembra una tavola piatta e altre, invece, è percorso da cavalloni? La risposta, come canta Bob Dylan, soffia nel vento. È proprio lui il responsabile del continuo movimento cui sono sottoposti mari e oceani.

COME SI FORMANO LE ONDE

Se il vento non agitasse il mare, avremmo una distesa di acqua immobile come una pozzanghera dopo un acquazzone. Basta, però, chinarsi su questa pozzanghera e soffiarvi leggermente sopra, per increspare la superficie e causare piccole onde che si propagheranno dal punto in cui è stata sollecitata fino al bordo.

Al mare succede lo stesso. Le onde sono uno dei fattori più importanti nel determinare la natura di una spiaggia, poiché trasportano energia. Il vento che spira sul mare, infatti, trasferisce la propria energia alla superficie dell'acqua, attraverso l'attrito, che dal largo sarà portata fino a riva. In alto mare raramente la superficie è immobile, vi sono piccole increspature che si propagano qui e lì, pronte per essere amplificate dal vento. Più questo soffia forte e a lungo, maggiore energia sarà trasferita all'acqua e più le onde si sommeranno tra loro, più diventeranno grandi e arriveranno lontano.

Quel che viene trasportato, però, non è materia bensì energia, perché le singole molecole non si spostano, se non di poco. Basta

un esempio. Mettete due mani su un tavolo, alzate la destra e picchiettate con le dita di questa mano la superficie, a distanze variabili. La mano sinistra sentirà una vibrazione: è l'energia che si è propagata fin lì dal punto in cui avete colpito il tavolo. Una situazione simile si verifica in alto mare, dove il vento spinge le molecole superficiali dell'acqua a compiere un movimento circolare verso il basso – facilitato dalla forza di gravità – che dopo poco le riporta nella stessa posizione (vedi figura 1). Questo movimento si propaga, diminuendo fino a sparire, man mano che aumenta la profondità; ciò che continua in direzione del vento, invece, è l'onda che nasce dalla perturbazione.

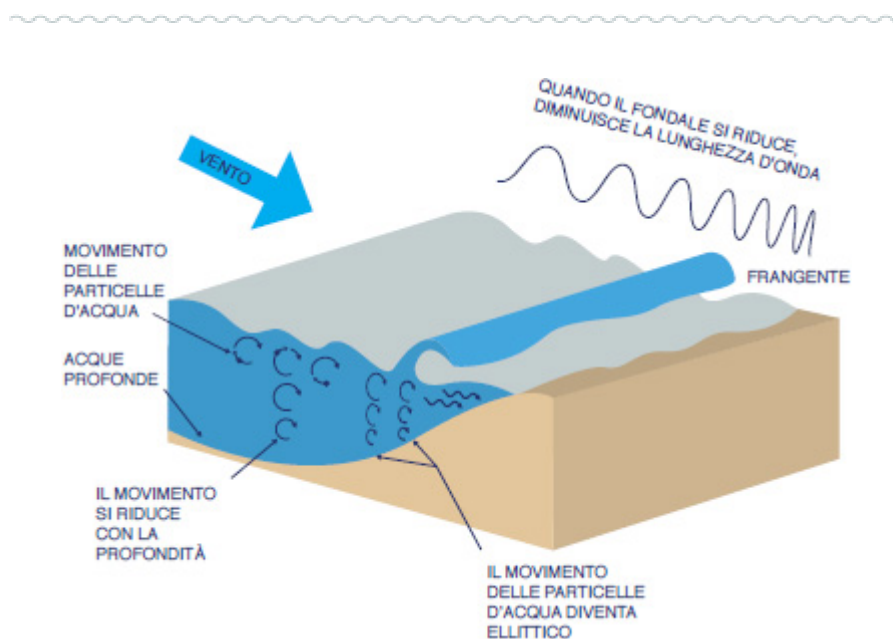



FIGURA 1 - LA FORMAZIONE DELLE ONDE E LO SHOALING

LE CARATTERISTICHE DELLE ONDE

Come ogni onda che si rispetti (per esempio, la luce o il suono), anche quella marina può essere descritta con alcune caratteristiche fondamentali (vedi grafico 1): altezza, lunghezza e periodo. L'*altezza* di un'onda è la distanza che esiste tra la cresta (il punto più alto) e il suo ventre (quello più basso), e durante una tempesta, al largo del Mediterraneo si possono trovare onde alte anche oltre 8 metri. Lo spazio tra due creste (o due ventri) si chiama invece *lunghezza d'onda* e uno tsunami, per esempio, può avere una lunghezza d'onda di centinaia di chilometri. Infine, il

periodo è il tempo che intercorre, fissato un punto, tra il passaggio di una cresta (o un ventre) e quello della successiva.

Le onde più veloci avranno un periodo più breve, anche di frazioni di secondo, quelle più lente – come le maree – tipicamente arrivano a poco più di dodici ore.

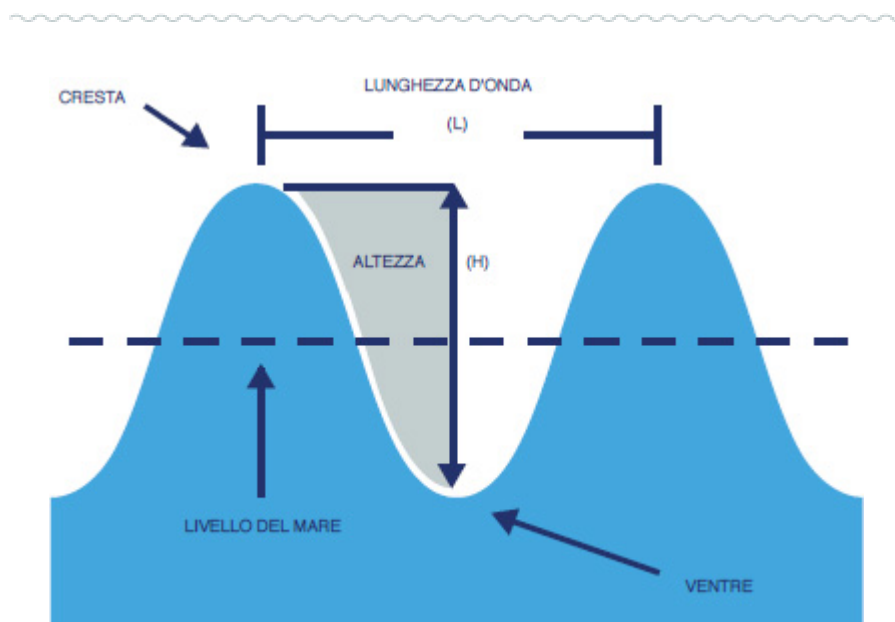



GRAFICO 1 - LE CARATTERISTICHE DI UN'ONDA

DUE TIPI DI MARE

Il mare è sempre in movimento, ma a occhio nudo si possono distinguere due diverse condizioni. In presenza di vento, la sua superficie sarà caotica e frammentata, scossa da piccole e brevi onde, e in questo caso si parlerà di mare vivo (o di vento; vedi tabella 1). Quando l'aria è ferma ma la superficie marina è percorsa da onde che provengono da un vento precedente o da tempeste in lontananza, saremo invece in una condizione di mare morto (o lungo; in inglese, *swell*). In questo caso le onde saranno molto distanziate e con periodo più ampio.

MARE VIVO (O MARE DI VENTO)

TERMINE DESCRITTIVO Stato del mare	ALTEZZA MEDIA DELLE ONDE

0 Calmo	–
1 Quasi calmo	0 - 0,10 metri
2 Poco mosso	0,10 - 0,50 metri
3 Mosso	0,50 - 1,25 metri
4 Molto mosso	1,25 - 2,50 metri
5 Agitato	2,50 - 4 metri
6 Molto agitato	4 - 6 metri
7 Grosso	6 - 9 metri
8 Molto grosso	9 - 14 metri
9 Tempestoso	oltre 14 metri

TABELLA 1 - LA SCALA DOUGLAS

CHE ONDA GRANDE CHE SEI

Da cosa dipende la dimensione di un'onda? Come dicevamo, questa deriva innanzitutto dalla forza del vento che spira sul mare e dalla sua durata, ma c'è anche un altro fattore da prendere in considerazione: il *fetch*. Questa parola indica la superficie di mare aperto su cui il vento può soffiare con velocità e direzione costanti, senza interruzione. Un lago con poche centinaia di metri di fetch, per esempio, avrà sempre onde di dimensioni modeste. Per crescere, le grandi onde causate dal vento hanno bisogno di molti chilometri di spazio libero, aria che soffia a centinaia di chilometri orari e che dura per ore o giorni.

ONDA SU ONDA

Ora sappiamo come si creano le onde, ma in che modo si comportano? Nel bel mezzo del mare possono incontrarsi molte

onde più o meno grandi, nate da tempeste lontane che le spingono in diverse direzioni.

Quando queste si scontrano, “scende in campo” quello che in fisica viene chiamato l’effetto di *interferenza*. Da due onde diverse nasce un’onda che in ogni punto ha un’ampiezza uguale alla somma algebrica dell’ampiezza delle singole onde in quel punto.

Se hanno entrambe ampiezza positiva o negativa (sopra o sotto il livello del mare a riposo), queste si sommano; se l’una è positiva e l’altra è negativa, si sottraggono. Prendiamo per esempio due onde con stessa altezza e identico periodo che viaggiano in fase (creste e ventri corrispondono): nel punto in cui si incontreranno, nascerà un’onda con un’altezza doppia rispetto alle originarie (*interferenza costruttiva*).

Se, invece, le due onde sono in opposizione di fase (ad ogni ventre corrisponde una cresta, e viceversa), queste si annulleranno e il mare in quel punto tornerà calmo (*interferenza distruttiva*).

In che direzione viaggerà l’onda nata da questi incontri? Per capirlo basta applicare la regola del parallelogramma. Nel punto di scontro X prendiamo due segmenti che indicano la direzione (la linea), il verso (la freccia) e la velocità delle onde (la lunghezza) e costruiamo un parallelogramma come nel grafico 2: la direzione dell’onda risultante corrisponderà alla sua diagonale e questo procedimento si chiama *somma vettoriale*.

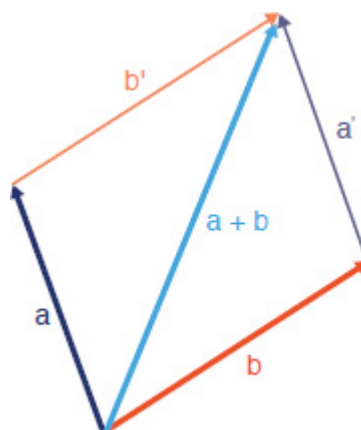



GRAFICO 2 - LA SOMMA TRA DUE VETTORI

Nei moti ondosi esistono anche altri comportamenti che possono essere descritti con le leggi della fisica e le onde, infatti, possono essere riflesse, diffratte e rifratte. Quando un'onda per esempio va a sbattere contro un argine, subisce l'effetto della *riflessione*: viene rispedita indietro (con angolo di riflessione pari a quello incidente), perdendo un po' di energia per colpa dell'attrito. Se un'onda si trova a passare in uno spazio ristretto più piccolo rispetto alla sua lunghezza d'onda, come per esempio all'ingresso di un porto, non prosegue nella stessa direzione, ma si disperde circolarmente (effetto di *diffrazione*). Le onde, infine, possono anche essere rifratte: quando si avvicinano alla costa, infatti, la loro velocità viene ridotta dall'interazione con il fondale, mentre la loro altezza aumenta (un processo chiamato *shoaling*), finché non si rompono.

QUANDO UN'ONDA SI ROMPE

Nel film *Point Break* di Kathryn Bigelow, con Patrick Swayze e Keanu Reeves, il vero protagonista è il *punto di rottura*. I surfisti lo conoscono bene: è il luogo in cui un'onda incontra all'improvviso un fondale superficiale e si rompe fragorosamente. Ora capirete il perché. Un'onda, lo abbiamo detto, trasporta energia che ha catturato dal vento, si propaga a volte per chilometri e può arrivare fino alla costa. Mentre guardate il mare dalla spiaggia, infatti, dovete pensare che l'onda che dal largo si avvicina sta cambiando (vedi figura 1): diminuendo l'altezza del fondale, aumenta l'attrito e la parte inferiore dell'onda rallenta. Un'onda inizia a "sentire" il fondo quando questo è inferiore a metà della sua lunghezza e, per conservare l'energia, cresce in altezza, diventando però più corta, finché a un certo punto la parte superiore scavalca quella inferiore, si frange e libera l'energia trasportata. In questo modo si può indovinare quale sia la morfologia di un fondo: se si vedono le onde infrangersi al largo, è perché in quel punto avranno incontrato un ostacolo. Avete mai fatto caso che in una spiaggia sabbiosa le onde si infrangono subito prima di una *secca*? Adesso conoscete il motivo.

CHIAMATELI FRANGENTI

Guardare un surfista che cavalca un'onda lascia sempre senza fiato. Se poi la attraversa, la cosa è ancora più affascinante. Esistono diversi tipi di onde che si rompono – in linguaggio tecnico si parla di frangenti (o *breakers*) – e ognuno è più o meno spettacolare (e pericoloso; vedi figura 2).

Spilling breakers (frangenti di scivolamento): quando una spiaggia ha una pendenza molto dolce, le onde perdono gradualmente energia e arrivano a frangersi lontano dalla riva, producendo molta schiuma, che sarà trasportata verso la battigia. Anche se queste onde possono essere grandi e rompersi più volte prima di terminare la loro corsa, sono i frangenti più semplici da cavalcare con una tavola da surf. *Plunging breakers* (frangenti a tuffo): sono le onde che si incurvano a formare un tubo che i surfisti provano ad attraversare indenni. Si formano in spiagge con un fondale ripido, spesso un banco sabbioso o degli scogli improvvisi, in cui la parte inferiore dell'onda viene rallentata velocemente, costringendo quella superiore a proseguire la sua corsa intrappolando l'aria in un tubo. In questo caso l'energia è persa tutta insieme e questo tipo di onde può essere pericoloso. *Surging breakers* (frangenti di rigonfiamento): in spiagge molto ripide, l'onda cresce risalendo il fondale e si solleva fino a rompersi all'improvviso sulla riva. La sua pericolosità spesso è dovuta alle forti correnti che trasportano l'acqua di nuovo verso il fondale. Anche se l'onda non è di grandi dimensioni, infatti, può tranquillamente ribaltare un adulto.

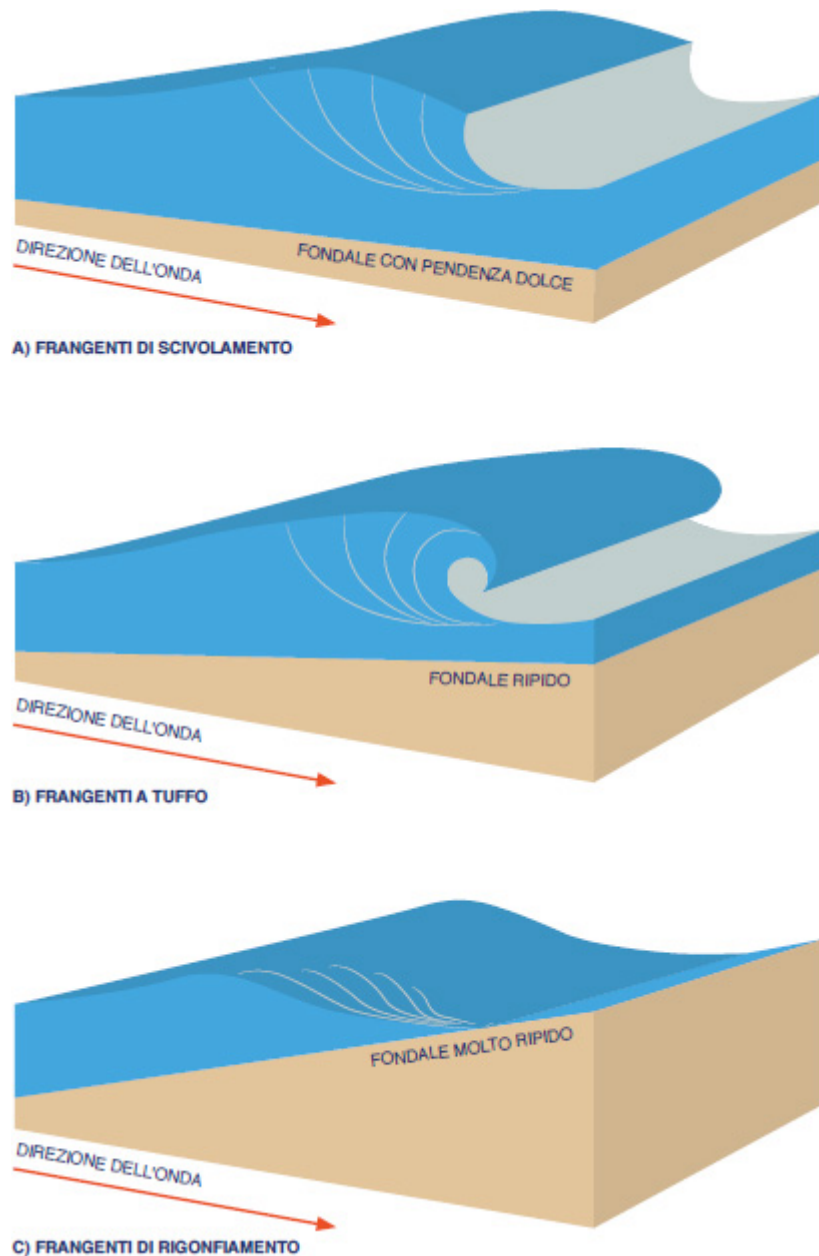



FIGURA 2 - I TIPI DI FRANGENTI

TRA LUNA, SOLE E MAREE

Gli astri ci influenzano. No, non stiamo parlando di oroscopi, ma di maree. Mari e oceani, infatti, subiscono l'attrazione di due corpi principali: la Luna e il Sole. Chi ha visitato Mont-Saint-Michel, sulla costa della Bassa Normandia nel canale della Manica, avrà assistito a un fenomeno naturale spettacolare. Durante la bassa marea il paese è circondato da sabbia e qualche rigagnolo, mentre con l'alta marea si trasforma rapidamente in un isolotto circondato dai flutti, collegato alla terraferma da un'unica

strada. A Mont-Saint-Michel l'*ampiezza* della marea (la differenza tra alta e bassa marea) arriva addirittura a 14 metri.

In che modo Sole e Luna spostano così grandi masse d'acqua? La soluzione all'enigma è nella gravità. Passando sopra gli oceani, il nostro satellite li attrae verso di sé, formando una protuberanza d'acqua, alla quale ne corrisponde un'altra che si crea dalla parte opposta del pianeta, per via della forza centrifuga dovuta alla rotazione della Terra attorno al suo asse. Stesso discorso vale per la nostra stella, anche se il Sole esercita una forza minore a causa della grande distanza (vedi figura 3). La combinazione di questi meccanismi può amplificarne (marea sigiziale) o ridurne (marea di quadratura) l'effetto. Nel primo caso, la differenza tra alta e bassa marea sarà massima, nel secondo invece sarà minima. In un mese lunare – i ventinove giorni che separano due lune piene – avremo due periodi di maree sigiziali e due di quadratura, il che significa che ogni sette giorni ci sarà un'inversione di tendenza e l'ampiezza della marea passerà dall'aumentare al diminuire (o viceversa).

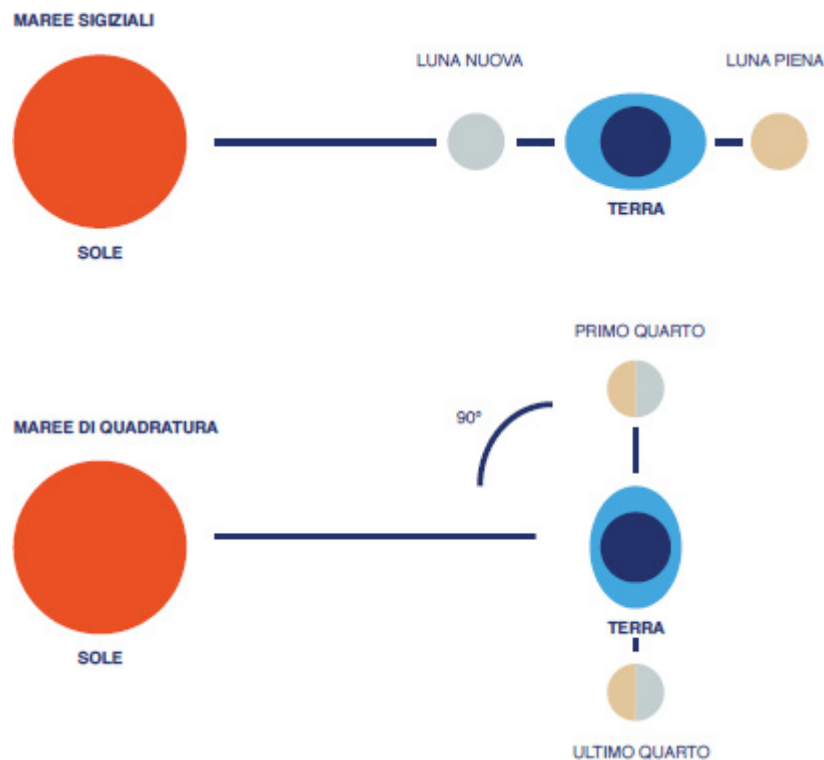



FIGURA 3 – LE MAREE

La marea può essere vista come un'onda: l'alta marea rappresenta la sua cresta, la bassa il suo ventre. Diversamente dalle altre onde, però, il suo periodo è molto lungo e generalmente è di dodici ore e venticinque minuti (a seconda della conformazione della costa). A causa della rotazione terrestre e della rivoluzione della Luna attorno al pianeta, in una spiaggia modello l'onda di marea passa, quindi, due volte al giorno. E ancora: l'ora in cui arriva la marea non è costante, ma si sposta ogni giorno di circa cinquanta minuti in avanti.

IN ITALIA È POSSIBILE UNO TSUNAMI?

Tsunami è una parola giapponese che significa "onda del porto", a indicare la devastazione che può arrecare alle zone costiere, fenomeno che in italiano viene anche chiamato *maremoto*. Lo ricordiamo bene se pensiamo al più devastante tsunami della storia, che colpì Thailandia e Indonesia il 26 dicembre 2004, provocando quasi trecentomila morti, oppure a quello che investì il Giappone l'11 marzo 2011, minacciando il disastro nucleare per via dei danni causati alla centrale di Fukushima.

Come si forma uno tsunami? L'onda anomala che si abbatte sulla terraferma è provocata da un evento che sposta una grande massa d'acqua e può trattarsi di un terremoto sottomarino, una frana, un'eruzione vulcanica o un impatto con un meteorite. Il punto chiave è che deve essere liberata una grande energia, che si trasmette grazie alle onde sulla superficie marina. Queste onde possono viaggiare per migliaia di chilometri a velocità che arrivano fino a 1000 chilometri orari e la loro lunghezza d'onda può superare i 100 chilometri. Nel momento in cui si avvicina alla costa, l'onda interagisce con il fondale e, come abbiamo visto, la sua altezza cresce, mentre velocità e lunghezza si riducono. È in questo momento che le acque del mare si ritirano, quasi si trattasse di una bassa marea improvvisa, per poi riversarsi sulla riva. Qual è stato lo tsunami più grande mai registrato? Era il 1959 e a Lituya Bay, in Alaska, un terremoto fece franare in mare una parte di costa: dall'altra parte della baia arrivarono onde alte più di 500 metri.

A causa della sua elevata sismicità, anche l’Italia è un paese a rischio maremoti. Secondo l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, le nostre coste hanno subito circa settantadue tsunami dalla celebre eruzione del Vesuvio nel 79 d.C. La maggior parte di questi è stata di debole intensità, ma alcuni si sono rivelati distruttivi. Uno dei più famosi è il maremoto di Messina, che nel 1908 colpì le località attorno allo stretto tra Sicilia e Calabria con onde che arrivarono fino a 12 metri di altezza e il bilancio del disastro fu di oltre centomila vittime. Oltre allo stretto di Messina, sono a maggiore rischio le coste della Sicilia orientale, della Calabria, del Gargano, della Liguria e, anche se in misura minore, quelle di Marche e Romagna.

PERCHÉ GALLEGGIAMO (E AFFONDIAMO)

È uno dei timori più forti che provano i bambini la prima volta che mettono piede in acqua senza ciambelle o braccioli gonfiabili: la paura di affondare. Eppure, il segreto del galleggiamento l'ha svelato Archimede di Siracusa – gridando il celebre «Eureka!» – nel terzo secolo a.C. La sua legge non solo ci svela perché siamo in grado di restare a galla, ma ci aiuta anche a costruire navi più stabili; ed è curioso, ma questa riguarda anche i palloncini e le mongolfiere che volano in cielo.

EUREKA, GALLEGGIA

Lo scienziato siciliano Archimede lo spiegava bene: «Un corpo immerso parzialmente o completamente in un fluido riceve una spinta dal basso verso l'alto pari al peso del fluido spostato».

Questa spinta si chiama *idrostatica* e vale per l'acqua come per tutti gli altri liquidi e addirittura i gas. Per capire meglio in che modo agisce questa forza, provate a prendere in braccio un amico stando sulla spiaggia: la cosa si rivelerà non facile, a meno che lui pesi poco e voi siate in forma. Ripetete l'azione in mare, mantenendolo immerso in acqua e vedrete come ci riuscirete con semplicità: è la forza di Archimede in azione.

Andiamo più nel dettaglio. Il corpo umano, come qualsiasi oggetto, è sottoposto a una forza che tira verso il basso, dipendente dalla sua massa e dalla gravità e nel momento in cui ci immergiamo in acqua, questa forza è controbilanciata dalla spinta di Archimede (pari al peso del liquido spostato).

Ma c'è di più, poiché il punto chiave del galleggiamento è la densità. Se l'oggetto è meno denso dell'acqua, resterà a galla; se invece è più denso, affonderà.

Il perché è abbastanza semplice, anche se per capirlo ci vuole un po' di matematica. Anzitutto immergiamo un corpo in acqua.

Come ricordavamo, la spinta (F_A) cui è sottoposto è pari all'accelerazione di gravità (g) per la massa del liquido spostato (m_L, che a sua volta corrisponde a densità, d_L, per volume, V_{Imm}). Ecco cosa viene fuori:

$$F_A = m_L \cdot g = d_L \cdot V_{Imm} \cdot g$$

Sappiamo anche che il peso che agisce sul corpo (F_P) è uguale alla massa del corpo (sempre pari al suo volume per la sua densità) per la gravità:

$$F_P = m_C \cdot g = d_C \cdot V_C \cdot g$$

Il corpo galleggerà nel momento in cui F_P è bilanciata da F_A ($F_P = F_A$) e visto che il volume del corpo immerso è pari a quello del corpo e la gravità è sempre uguale, l'unico parametro importante sarà la densità. Se la densità media dell'oggetto è inferiore a quella del liquido, questo si dirigerà verso la superficie, mentre se è maggiore, andrà verso il fondo e se è uguale, resterà immobile.

Questo significa che, a parità di peso, due materiali possono comportarsi in modo molto diverso: un pezzo di legno asciutto pari a un chilo, per esempio, galleggerà senza problemi, mentre un chilo di ferro affonderà rapidamente. Il legno, infatti, è meno denso dell'acqua (0,75 g/cm^3), al contrario del ferro (7,96 g/cm^3). Un altro esempio: l'acqua immersa in olio d'oliva affonda perché è più densa (1 g/cm^3 contro 0,92 g/cm^3 dell'olio).

PERCHÉ NOI GALLEGGIAMO?

La densità media del corpo umano è quasi uguale a quella dell'acqua. I nostri tessuti, infatti, sono principalmente composti da molecole di H_2O, ma ciò che fa la differenza è l'aria contenuta nei

nostri polmoni. La miscela di gas che respiriamo, con una densità pari a 1,2 kg/m^3, ci permette di abbassare il rapporto tra volume e massa del nostro corpo. Fateci caso quando siete a mollo in spiaggia: inspirate profondamente e provate a immergervi. Quando sarete sotto il pelo dell'acqua, espirate buttando fuori l'aria e noterete che sarà più facile rimanere immersi. Questo accade perché i vostri polmoni conterranno meno gas e la vostra densità corporea sarà maggiore. Non tutti stanno a galla nello stesso modo e vi sono diversi fattori che influenzano il galleggiamento.

Uno di questi, come è facile intuire, è la capacità dei polmoni: più aria riescono a trattenere, meno difficile sarà restare a galla. Un aspetto importante riguarda, invece la proporzione di tessuto adiposo presente nel corpo. Poiché il grasso è più leggero del tessuto muscolare e di quello osseo, una persona grassa avrà più facilità a galleggiare rispetto a una muscolosa, mentre quest'ultima sarà facilitata nei confronti di un'altra secca e ossuta.

IL SEGRETO DEL MORTO A GALLA

Una volta in acqua, il nostro corpo è sottoposto all'azione di due forze, la spinta idrostatica e la forza di gravità. Queste due forze non agiscono negli stessi punti: la prima insiste sul *baricentro*, la seconda sul *metacentro*. In parole semplici, è come se queste due spinte fossero concentrate in quei due singoli punti. Quando siamo in posizione completamente orizzontale, però, baricentro e metacentro non corrispondono. La gravità, infatti, tira verso il basso sul centro del bacino, perché è la parte inferiore del corpo più pesante, mentre la spinta idrostatica spinge verso l'alto a livello del tronco, dove i tessuti sono meno densi.

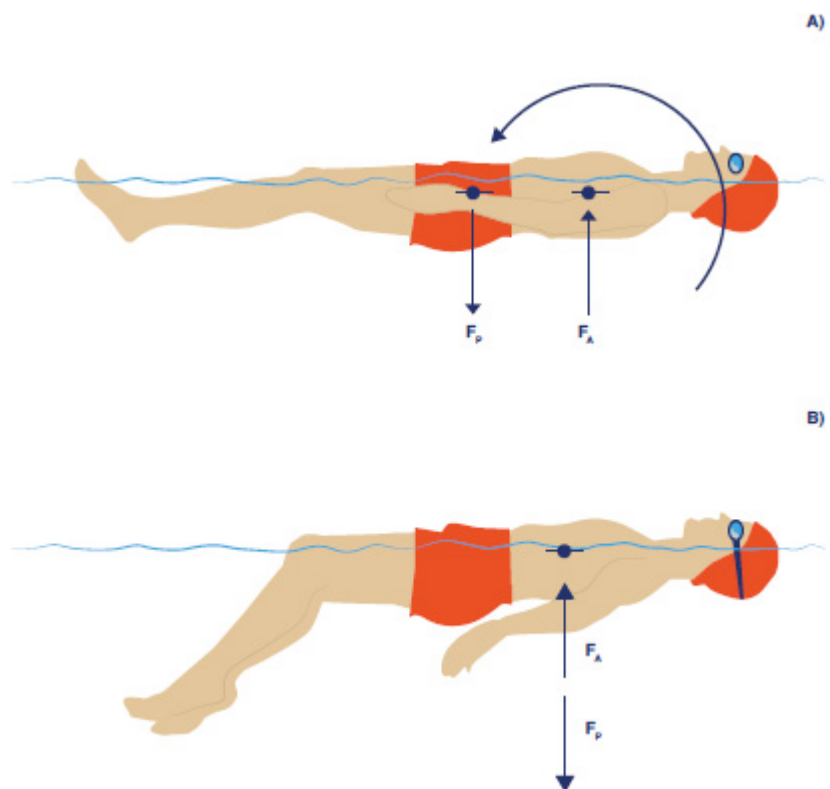



FIGURA 4 - LA SPINTA DI ARCHIMEDE E IL MORTO A GALLA

Questa disparità crea un movimento che tende a farci disporre in una posizione diagonale: il bacino va giù, mentre il tronco si alza (vedi figura 4). Ma allora, come trovare la posizione perfetta? Basta un semplice trucco per far coincidere metacentro e baricentro: piegare leggermente le ginocchia e tenere le gambe sott'acqua. In questo modo il centro di massa si avvicinerà a quello di galleggiamento e le due forze insisteranno nello stesso punto, regalandoci una posizione più stabile.

ACQUA SALATA CONTRO ACQUA DOLCE

Dove si galleggia meglio, in mare o in un lago? Dipende tutto dalla densità dell'acqua che se è dolce ha una densità media di 1 g/cm^3, mentre se è salata arriva a 1,025 g/cm^3 e dal momento che la spinta idrostatica è maggiore se un liquido è più denso, nell'acqua di mare sarà più semplice galleggiare. Grazie a una salinità pari al 33,7 per cento, il Mar Morto si conferma uno dei luoghi in cui si riesce a stare meglio a galla, poiché la densità delle sue acque è di 1,24 g/cm^3 (vedi pagina 30).

IL PALLONCINO DI ARCHIMEDE

La legge di Archimede vale anche per i gas, per cui il genio di Siracusa ha a che fare anche con palloncini e mongolfiere. I palloncini che i bambini adorano sono pieni di elio che ha una densità di 0,179 kg/m^3, quindi inferiore a quella della miscela di gas dell'atmosfera (1,2 kg/m^3), ma pensiamo più in grande: la spinta che un gas riceve verso l'alto può essere così forte da essere usata come mezzo di trasporto. Ecco spiegato come funziona una mongolfiera: riscaldando la grande massa di aria dentro il pallone, il volume aumenta e la densità si riduce, di conseguenza cresce la forza che spinge tutto il sistema verso l'alto e si prende il volo.

PERCHÉ LE BARCHE GALLEGGIANO

Quando guardiamo le grandi navi che solcano mari e oceani, ci chiediamo come facciano a galleggiare; per capirlo basta ragionare sul principio di Archimede. Se un oggetto resta a galla in mare, deve avere una densità minore rispetto a quella dell'acqua, ma com'è possibile, considerando che una nave è fatta di materiali densi e pesanti come l'acciaio? Ebbene, nel calcolo della densità (massa divisa per il volume) dobbiamo considerare non solo la struttura, ma anche l'aria che è presente nello spazio occupato dall'imbarcazione. Grazie agli enormi spazi vuoti di una nave, la sua densità totale diminuisce di molto e diventa inferiore rispetto a quella dell'acqua.

IL CASTELLO DI SABBIA PERFETTO

Un castello di sabbia è una vera e propria scultura, modellata da esperienza e creatività. I bambini si divertono per ore a costruirli, magari per il gusto di distruggerli subito dopo, ma c'è anche chi vi si dedica con passione e costanza, facendone un'arte. In tutto il mondo si organizzano gare per dimostrare la propria abilità: che si tratti delle spiagge di San Diego negli Stati Uniti, o di quelle di Jesolo in Italia o di Vancouver in Canada, i tanti costruttori di castelli di sabbia si affidano alla fisica per realizzare le proprie opere.

Gli ingredienti per realizzare una scultura in spiaggia sono due: la sabbia fine e l'acqua. Da asciutta, infatti, la sabbia scivola via facilmente, mentre quando è umida resta compatta. Per quale motivo? L'acqua fa sì che tra i singoli granelli si formino dei piccoli *ponti* che li legano insieme. Questo fenomeno viene chiamato *tensione superficiale* dei liquidi e si

verifica anche con l’acqua saponata con la quale si fanno le bolle: quando infilate il beccuccio all’interno del contenitore, il liquido aderirà perfettamente alle pareti del cerchietto. Tornando ai castelli di sabbia, nel momento in cui l’acqua è troppa, il liquido avvolge tutto il granello e i ponti si dissolvono.

Il problema principale, quindi, è quanta acqua si debba aggiungere alla sabbia per avere la migliore aderenza, cosa che ha cercato di capire un gruppo di ricerca internazionale che ha visto coinvolti ricercatori provenienti da Iran, Paesi Bassi e Francia. Armati di paletta e secchiello, gli scienziati hanno pubblicato le loro ricerche sui castelli di sabbia su “Scientific Reports” (una rivista del gruppo di “Nature”). Ecco cosa hanno scoperto: la stabilità massima di una costruzione si ottiene quando l’acqua non supera l’1 per cento del volume della sabbia. I ricercatori, possiamo dirlo, si sono proprio sporcati le mani, poiché durante i test sperimentali sono riusciti a realizzare una colonna di sabbia alta 2,5 metri con una base dal raggio pari a 20 centimetri. Affinché una costruzione sia stabile si deve anche tenere conto del rapporto tra base e altezza, perché una torre troppo alta cadrà rovinosamente sotto il suo stesso peso. I fisici dei castelli di sabbia, però, hanno svelato anche in questo caso il trucco: l’altezza massima cui può arrivare una colonna di sabbia è pari alla radice cubica del quadrato del raggio della sua base. Insomma, la prossima volta che andate in spiaggia, dovrete portarvi riga e squadra.

Gli stessi ricercatori che hanno svelato il “segreto” del castello di sabbia perfetto sono riusciti in un’altra impresa: costruirne uno sott’acqua, utilizzando sabbia idrofobica (una sostanza impermeabile). I risultati sono stati ancora più spettacolari, dal momento che in acqua il peso totale della struttura è inferiore (grazie alla spinta di Archimede). In questo caso i ponti che si vanno a formare tra i diversi granelli di sabbia non saranno d’acqua, bensì d’aria.

LA FISICA DELLA TAVOLA DA SURF

Grande equilibrio, una buona tavola, prestanza fisica e un'ottima conoscenza della spiaggia: queste sono le caratteristiche di un surfista davvero in gamba. Sì, perché per cavalcare un'onda oltre al fisico ci vogliono testa e strumenti. Cosa ci racconta la scienza?

IN PIEDI SU UNA TAVOLA

Bisogna saper individuare la zona dei frangenti, il tipo di fondale e quali onde potrà creare, ma è necessario anche sapere quali forze governano una tavola. Perché, per esempio, la tavola galleggia? I più attenti avranno la risposta pronta: è meno densa dell'acqua e anche qui entra in azione il principio di Archimede (vedi pagina 28) vale anche per questo sport. Le *surfboards*, infatti, sono costruite con schiume molto leggere come poliuretano e polistirene e rivestite di fibra di vetro e resine; inoltre, negli ultimi anni si sono diffuse anche tavole in fibra di carbonio, molto leggere e resistenti.

La galleggiabilità di una tavola dipende anche dal suo volume e queste si possono raggruppare in due classi generali a seconda della loro grandezza: le *shortboards* sono lunghe intorno ai 2 metri, mentre le *longboards* superano i 2,7 metri. Ricordiamo che la spinta di Archimede è proporzionale al volume di acqua spostata dall'oggetto immerso, per cui una tavola corta è più maneggevole, ma galleggia con maggiore difficoltà. Le tavole lunghe, quindi, possono catturare anche onde più piccole, mentre le corte avranno bisogno di frangenti più potenti.

I MIGLIORI POSTI (AL MONDO) DOVE FARE SURF

È l'onda che tutti i surfisti cercano: *The Big One*, il frangente più grande che si possa mai cavalcare. L'onda di *Un mercoledì da leoni*, di *Point Break*, o di *Drift*, quella che non potrai mai dimenticare. Per un surfista la caccia è sempre aperta, ma i paradisi dove trovarla sono ben conosciuti. Ecco le dieci migliori spiagge dove fare surf nel mondo, secondo la CNN.

1 PIPELINE (ISOLA DI OAHU, HAWAII)

La madre di tutte le onde probabilmente si è formata in questa spiaggia. Impressionanti frangenti a tuffo alti anche 6 metri si rompono su una barriera corallina affilata come un rasoio, il che la rende una spiaggia solo per surfisti decisamente esperti.

2 SUPERTUBES (JEFFREYS BAY, S. AFRICA)

Lunghissime onde a tubo che si rompono per centinaia di metri. Questa spiaggia è divisa in settori, a seconda della forma e della difficoltà delle onde.

3 TEAHUPO'O (TAHITI, POLINESIA FRANCESE)

Una delle spiagge più pericolose al mondo, a causa della barriera corallina poco profonda contro cui si infrangono pesantissime onde. Il suo nome significa "muro di teste", e ci sarà una ragione.

4 ULUWATU E KUTA (BALI, INDONESIA)

Questa località attira surfisti esperti dalle Hawaii e dall'Australia, oltre a malcapitati principianti da tutto il mondo. Molto popolare è la grotta davanti alla quale si rompono le onde.

5 P-PASS (POHNPEI, STATI FEDERATI DI MICRONESIA)

Una spiaggia con onde incredibili, che rimane spesso poco affollata, poiché è difficile oltre che costoso raggiungerla.

6 MAVERICKS (CALIFORNIA, STATI UNITI)

Le onde più potenti degli Stati Uniti si formano in questa spiaggia californiana. Le tempeste invernali in alto mare scatenano pericolosissime onde che possono arrivare ai 25 metri di altezza e che si rompono su un fondale roccioso.

7 HOSSEGOR (AQUITANIA, FRANCIA)

È la capitale europea del surf. Su questo versante dell'Atlantico, grazie ai bassi fondali sabbiosi, si formano onde che rivaleggiano con quelle hawaiane.

8 PUERTO ESCONDIDO (OAXACA DEL SUD, MEXICO)

Con una stagione del surf che dura da marzo a dicembre e grandi onde, questa località attira molti surfisti per le sue onde che possono arrivare anche a un'altezza di 6 metri.

9 CLOUD 9 (ISOLA DI SIARGAO, FILIPPINE)

Deve il suo nome a una barretta di cioccolato americana, ma le sue onde sono tutt'altro che dolci. Il fondale di corallo e la potenza dei frangenti possono rompere tavole e ossa.

10 LANCE'S RIGHT (SIPORA NELLE ISOLE MENTAWAIS DI SUMATRA, INDONESIA)

Un'onda a tubo perfetta, a detta di chi ha deciso di cavalcarla, nella cornice di una splendida spiaggia dalle acque calde.

I MIGLIORI POSTI (IN ITALIA) DOVE FARE SURF

Anche in Italia è possibile fare surf. Il periodo migliore è tra autunno e inverno, quando le tempeste atlantiche si spingono sopra l'Europa e riescono ad arrivare nel Mediterraneo. Il litorale occidentale ha le onde migliori, con Sardegna e Sicilia in testa. Qualche località: Capo Mannu vicino a Oristano, Varazze e Levanto in Liguria, Santa Marinella e Gaeta nel Lazio, Mondello in provincia

di Palermo. Le onde che si possono trovare nel nostro paese, però, sono da piccole a medie.

Una volta capito perché una tavola galleggia, pensiamo a come una persona riesce a starci in piedi. È tutta una questione di equilibrio: per non cadere, il proprio baricentro – il punto ideale dove si concentra tutto il nostro peso – deve rimanere all'interno della base d'appoggio. Immaginate di avere la vostra tavola in mezzo a un mare molto calmo e di sdraiarvici a pancia sotto. Facile rimanere così, no? Nel momento in cui vi muovete e cercate di alzarvi in ginocchio, la vostra massa si sposta, il baricentro cambia, la tavola ondeggia e rischiate di finire a mollo. Pensate a dovervi mettere in piedi mentre sotto di voi sta montando un'onda. Ci vuole molto equilibrio, cioè bisogna riuscire a bilanciare tutta una serie di forze, tra cui la gravità che tende a spingerci giù. Uno dei modi per farlo, come avrete visto fare ai surfisti, è mettere le gambe una davanti all'altra, così da aumentare l'area d'appoggio, e stare un po' piegati, in modo da mantenere il baricentro basso.

LA STORIA DEL SURF

Tavole di legno lunghe anche 7 metri, cavalcate da uomini e donne nudi, così il surf è apparso agli esploratori occidentali arrivati nel Pacifico meridionale. Era il 1779 e l'Endeavour del capitano James Cook era appena sbarcato alle Hawaii. Prima di diventare una pratica culturale e poi sportiva, il surf era nato da diverse centinaia di anni in Polinesia come modo veloce per tornare a riva dopo aver pescato. Chi lo rese celebre a livello mondiale fu Duke Kahanamoku, un atleta olimpico hawaiiano che, forte delle sue medaglie d'oro nel nuoto, girò Stati Uniti e Australia per mostrare le proprie abilità con la tavola. Così *The Big Kahuna*, come era soprannominato, non solo rese le Hawaii una popolare meta turistica, ma diffuse nel mondo uno degli sport acquatici più stupefacenti.

I SENSI SOTT'ACQUA

Immergersi nelle profondità marine è un'esperienza stupefacente, sembra quasi che siano governate da leggi fisiche diverse da quelle a cui siamo abituati sulla superficie terrestre. In realtà ciò che cambia è il mezzo che ci circonda. Per rendersene conto, basta mettere la testa sott'acqua: luce, colori e suoni ci racconteranno un mondo diverso e affascinante.

UNO SGUARDO SOTT'ACQUA

In spiaggia vi sarà capitato di guardarvi i piedi immersi in acqua e di avere l'impressione che ci sia qualcosa che non va. Non li sentite davvero lì: sono troppo vicini.

Perché? Tutto dipende dal fatto che la luce, che ci consente di percepire forme e colori, viene leggermente spostata quando entra in acqua. Facciamo un esempio pratico: prendete una bacinella piena d'acqua, infilateci dentro una penna, tenendola per un'estremità e guardate poi dall'alto: la penna vi sembrerà spezzata e sarà come se questa non proseguisse la sua corsa, cambiando direzione nel punto di contatto con il liquido.

Questo avviene per l'effetto chiamato *rifrazione* (succede anche per le onde marine; vedi pagina 20).

Quando un raggio di luce colpisce la superficie dell'acqua, in parte si riflette come su uno specchio, in parte si rifrange. In questo passaggio tra un mezzo (l'aria) e l'altro (l'acqua), la luce rallenta di un quarto la propria velocità.

Ogni materiale ha infatti un *indice di rifrazione*, che indica quanto un raggio sarà ritardato o accelerato: l'aria lo ha praticamente pari a 1 (la luce quindi viaggia quasi indisturbata a 300.000 chilometri al secondo), mentre l'acqua pari a tre quarti.

Torniamo all'esperimento: i raggi di luce che arrivano ai nostri occhi vengono rifratti nel momento in cui dalla penna immersa passano tra l'acqua e l'aria; accelerando, cambiano direzione e ciò che vediamo è un'immagine virtuale. Il nostro cervello, infatti, parte dal presupposto che la luce viaggi in modo rettilineo, così prosegue i raggi deviati fino a costruire una penna che non esiste.

IN ACQUA SIAMO TUTTI IPERMETROPI

Nel momento in cui mettiamo la testa sott'acqua e apriamo gli occhi, il mondo cambia ancora di più, perché i raggi che colpiscono il cristallino, la lente che li fa convergere in un'immagine coerente sulla retina, sono deviati rispetto al loro solito cammino.

Gli oggetti, infatti, saranno messi a fuoco non sulla retina, ma oltre, e il risultato sarà che vedremo un'immagine molto sfocata. Chi è ipermetrope può capire benissimo ciò di cui stiamo parlando, dato che senza occhiali subisce lo stesso effetto; al contrario, una persona miope, che ha il problema opposto (gli oggetti sono a fuoco prima della retina), vedrà meglio.

Che succede, invece, se indossiamo una maschera? Il risultato sarà una vista di nuovo nitida, ma a causa dell'aria (e del vetro) che separa l'acqua dai nostri occhi, i raggi subiranno la stessa rifrazione che avviene nell'esempio della penna: gli oggetti ci sembreranno più vicini e più grandi di quanto non siano in realtà.

IL MONDO È BLU

Il mondo subacqueo è fatto di pochi colori. Chi fa immersioni sa per esperienza che non appena si scende anche di qualche metro, ciò che lo circonda apparirà prevalentemente blu. Perché? Prima di rispondere, partiamo dal modo in cui riusciamo a vedere i colori all'asciutto. La luce è un'onda elettromagnetica e al suo interno ha tante diverse componenti (divise secondo la loro lunghezza d'onda). All'interno del campo del visibile, la porzione dello spettro elettromagnetico che possiamo percepire, va dal violetto al rosso, passando per blu, verde, giallo e arancio, e ogni oggetto colpito dalla luce assorbe e riflette alcune di queste componenti. Guardatevi attorno: una sedia rossa, per esempio,

riflette le onde di luce rossa, assorbendo tutte le altre; una penna blu, invece, trattiene le componenti tranne quella blu. Ora dovrebbe essere facile rispondere sul nero: gli oggetti neri assorbono tutto lo spettro. E il bianco? Riflette tutte le onde e noi vediamo la somma totale delle componenti. Ebbene, anche l'acqua è in grado di assorbire la luce solare e, in particolare, è un ottimo assorbente per tutte le onde tranne che per quelle blu. Questa capacità diventa più evidente con l'aumento della profondità. Il rosso, per esempio, viene assorbito molto rapidamente in pieno oceano e scendendo oltre i 5 metri non ve n'è più traccia. Ecco perché molti pesci e crostacei che vivono oltre queste profondità hanno colorazioni rossastre: agli occhi dei predatori è come se fossero neri, visto che la radiazione rossa è ormai scomparsa. A seguire si perdono l'arancio, poi il giallo, il violetto e il verde, e infine, a profondità che possono arrivare fino a centinaia di metri, sparisce anche il blu. La quantità di luce che arriva sott'acqua non dipende solo dalla profondità: vi è una grande differenza tra pieno oceano e mare sottocosta. L'acqua al largo, infatti, è priva di tutte quelle particelle in sospensione che possono interagire con la luce, come il fango o, per esempio, organismi animali e vegetali in decomposizione, sabbia, plancton. Tutti questi elementi hanno un loro assorbimento specifico e fanno in modo che sott'acqua arrivino solo alcune onde luminose. Il plancton, per esempio, assorbe proprio il violetto e il blu, che normalmente arrivano – come abbiamo visto – in profondità. Basta che le acque superficiali siano un po' torbide e il profilo di assorbimento può essere completamente ribaltato.

DI CHE COLORE È IL MARE?

No, il mare non è blu perché riflette l'azzurro del cielo. Come abbiamo visto, l'acqua assorbe in modo preferenziale le onde luminose viola, rosse, gialle, verdi e arancioni, e riflette quelle blu ed è proprio questo colore che vediamo sulla sua superficie, a meno che non vi siano particelle in sospensione. Questo principio, però, non vale per il cielo, poiché il suo colore dipende da un altro fenomeno chiamato *diffusione*: l'atmosfera tende a disperdere la luce in tutte le direzioni e in maggiore misura la radiazione blu rispetto a tutte le altre.

IL NUOTO DELLE ONDE SONORE

In acqua i suoni si propagano molto più velocemente di quanto non facciano in aria, ma allora perché non riusciamo a sentire meglio? Partiamo dall'inizio, definendo cosa sia un suono. Si tratta anche qui, come nel caso delle onde marine e della luce, di un fenomeno ondulatorio. In questo caso parliamo di un'onda meccanica dovuta a un'oscillazione di pressione all'interno del mezzo in cui si propaga, come l'aria o l'acqua: in sostanza, si tratta di una serie di compressioni e rarefazioni in un particolare mezzo. Nell'aria l'onda viaggia a una velocità superiore ai 1200 chilometri orari, percorrendo un chilometro in soli tre secondi, mentre in acqua arriva a superare i 5300 chilometri orari e in quegli stessi tre secondi avrebbe già percorso 4,5 chilometri. Ecco il perché di questa differenza: essendo un liquido, l'acqua è meno comprimibile rispetto ai gas di cui è composta l'aria e le sue molecole resistono alla compressione, trasmettendo l'onda con più rapidità. La velocità del suono in acqua dipende direttamente da due fattori: pressione e temperatura. Quando questi aumentano, cresce anche la rapidità con cui le onde sonore si propagano e man mano che si scende in profondità, la temperatura diminuisce, mentre la pressione aumenta. In sostanza: il suono viaggia più veloce nelle calde acque superficiali e più lento in quelle fredde e profonde. Continuando a scendere in profondità (circa 1200 metri), però, quando la pressione della colonna d'acqua sovrastante è abbastanza forte da controbilanciare l'abbassamento di temperatura, la velocità torna a crescere e nell'oceano più profondo il suono correrà molto più rapidamente che in superficie.

ASCOLTARE CON LE OSSA

In acqua il nostro udito è pesantemente ridimensionato. Le nostre orecchie, infatti, sono perfette per raccogliere le onde sonore trasmesse dall'aria, ma sono quasi inutili se mettiamo la testa sott'acqua. Pensiamo al padiglione auricolare: la sua funzione è raccogliere le vibrazioni e trasmetterle all'orecchio medio e interno, dove saranno convertite in segnali nervosi per il cervello. Questo meccanismo, in acqua, diventa quasi inutile, giacché il padiglione – come la maggior parte dei nostri tessuti –

ha praticamente la stessa densità dell’acqua per cui non riesce a fermare e trasmettere la vibrazione. Ma allora perché percepiamo lo stesso i rumori? La risposta è nelle nostre ossa.

Le ossa del nostro cranio, infatti, sono più dense dell’acqua e possono ricevere e trasmettere più facilmente le onde sonore. Questa vibrazione viene ricevuta dall’orecchio interno, che la trasforma in impulsi cerebrali. È lo stesso meccanismo alla base di alcuni dispositivi pensati per le persone affette da sordità, che, invece di sfruttare i normali organi uditivi, usano le ossa per trasportare i suoni. La *conduzione ossea*, però, è più debole di quella aerea e per sentire lo stesso rumore, ci vorrà un volume più alto. Ma facciamo un altro esempio. Sarà capitato a tutti di sentire la propria voce registrata, che ci sembra molto diversa da quella che percepiamo parlando e una delle cause è proprio perché la ascoltiamo principalmente con le ossa. Il tessuto osseo, rispetto all’aria, conduce con più facilità le frequenze basse, così la nostra voce ci sembra più profonda e piena di quanto in realtà la sentano gli altri.

PERDERE L’ORIENTAMENTO

Come abbiamo visto, il suono viaggia più velocemente in acqua e questo ci crea qualche problema di orientamento. All’asciutto siamo molto bravi a capire da dove venga un suono, mentre da immersi è molto difficile.

Questa capacità di orientarci verso una sorgente sonora si basa sulla differenza tra ciò che percepiamo rispettivamente con un orecchio o con l’altro. In aria quello più vicino all’origine del rumore, infatti, riceve per primo il suono, seguito dopo qualche centesimo di secondo dall’altro. Questa differenza di tempo (e di intensità, se la sorgente è abbastanza vicina) viene interpretata dal nostro cervello, che riesce a capire da quale direzione arrivi il suono.

Per rendervi conto di questo meccanismo, allungate il braccio di fronte agli occhi e iniziate a schioccare rumorosamente le dita. Muovendo il braccio, compite con la mano un semicerchio attorno alla testa e così facendo percepirete piccole differenze nel suono che arriva alle orecchie.

Provate a fare la stessa cosa sott’acqua e vedrete che sarà molto più difficile capire da dove venga il rumore. Perché? Visto

che le onde sonore nell'acqua viaggiano molto più rapidamente, la differenza tra il momento in cui il rumore arriva all'orecchio destro e poi al sinistro è talmente piccola che il nostro cervello non riesce a interpretarla: è come se i due rumori arrivassero nello stesso momento.

COME FUNZIONA IL SONAR

Dato che la velocità del suono è quasi cinque volte maggiore in acqua che in aria, le onde sonore possono essere un efficiente mezzo per esplorare le profondità marine. A usarle non sono solo alcuni animali come i delfini (secondo ciò che viene chiamato *ecolocalizzazione*; vedi pagina 128), ma anche l'uomo. Noi, infatti, abbiamo inventato il sonar (acronimo dell'inglese SOund Navigation And Ranging) che usiamo per navigare, comunicare o individuare oggetti in mare. Il funzionamento si spiega facilmente: da un lato si emette un preciso suono, dall'altro si resta in ascolto della sua eco. Se l'onda sonora emessa incontra un ostacolo, rimbalzerà su di esso e tornerà indietro, a quel punto il sonar capterà quest'onda riflessa, riuscendo a calcolare in modo semplice la distanza a cui si trova l'oggetto: più sarà lontano, più tempo avrà impiegato l'eco a tornare indietro.

IL SEGRETO DEL RIMBALZELLO

Quanti rimbalzi riuscite a fare lanciando un sasso a pelo d'acqua? Sarà difficile eguagliare il record mondiale, ma è tutta una questione di fisica. Il primato è dello statunitense Russell Byars, che nel 2007 è riuscito a far saltare un ciottolo ben cinquantuno volte (cercate il video su Internet, sembra non fermarsi mai). Se volete provare a soffiargli il record, partecipare ai campionati mondiali che si tengono sull'isola di Easdale, in Scozia, o semplicemente battere gli amici, ecco qualche consiglio. Alcune regole sono date dall'esperienza: il sasso, per esempio, deve avere una forma preferibilmente piatta e circolare, non pesare troppo ma neanche troppo poco; il lancio deve essere rapido e a pelo d'acqua; e nel momento in cui si sta per lanciare il ciottolo, bisogna imprimergli un moto rotatorio. Queste sono le basi, ma alcuni fisici sono andati oltre. Per capire i segreti del rimbalzo, un gruppo di ricercatori francesi ha costruito una macchina lancia sassi e posizionato telecamere ad alta velocità nel punto dell'impatto. È stato dimostrato che il fattore che rende possibile il

maggior numero di rimbalzi è l’angolo con cui il ciottolo colpisce l’acqua, che secondo i fisici francesi deve essere di 20 gradi (vedi figura 5), anche se un effetto minore si ha fino a 45 gradi. Superato questo valore, il sasso affonda sicuramente.

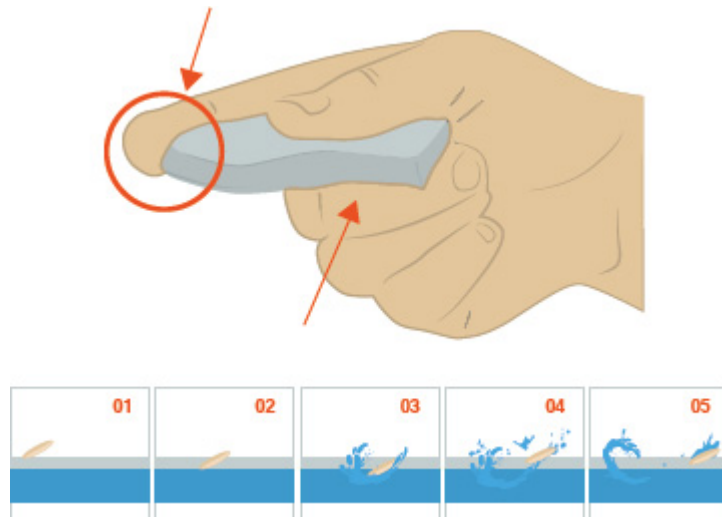



FIGURA 5 - COME IMPUGNARE E LANCIARE UN CIOTTOLO

Ma perché un sasso rimbalza? Quando viene attraversata da oggetti con una grande velocità, l’acqua si comporta quasi come un solido. Basta pensare allo sci d’acqua: trascinati da un motoscafo, si scivola sulla superficie. Lo stesso accade a un ciottolo: l’acqua reagisce alla sollecitazione nel punto di impatto e se questa spinta dal basso è superiore alla forza impressa, il sasso rimbalza, altrimenti affonda. La rotazione, invece, è importante per stabilizzare il ciottolo in aria, poiché girando, la sua traiettoria continua in modo rettilineo, disperdendo meno energia.

LE CORRENTI MARINE

Vi sarà capitato di fare il bagno in mare e sentire un flusso di acqua fredda arrivare all'improvviso su una gamba. Ebbene, eravate finiti nel mezzo di una corrente marina.

Più in generale viene chiamato *corrente* un qualsiasi movimento di acqua, sia che si tratti di uno spostamento di poche centinaia di metri, sia che l'acqua viaggi per centinaia di migliaia di chilometri.

Per colpa loro ci capita di uscire dall'acqua molto più lontano rispetto al punto in cui eravamo entrati, e da loro dipende il clima dei paesi europei che si affacciano sull'oceano Atlantico.

CONOSCI LA TUA CORRENTE

Se non lo si conosce, il mare può essere pericoloso ed è facile farsi prendere dal panico quando ci si ritrova in balia dei flutti. Per questo, meglio sapere cosa può succedere in acqua. Le correnti sulla spiaggia dipendono da un semplice principio: quando le onde si rompono, liberano la loro energia. Una parte si disperde nel rumore, ma la restante rimane intrappolata tra l'onda e il fondale.

L'acqua, compressa, fugge dove possibile e così si forma la corrente. Quella più comune, di cui spesso non ci rendiamo neanche conto, si chiama *risacca di fondo*.

È un quasi impercettibile flusso d'acqua che scorre sul fondale allontanandosi dalla riva. L'acqua s'insinua verso il basso e torna indietro da dove era venuta.

La *corrente di deriva* (o *lungo costa*), invece, la conosciamo molto bene: è quel flusso che ci trasporta longitudinalmente rispetto alla spiaggia. Entriamo in acqua a farci il bagno, passa

qualche minuto e quando guardiamo verso la riva, il nostro ombrellone è molto più distante: senza accorgercene, abbiamo percorso decine di metri. Questo tipo di corrente si trova soprattutto nelle spiagge molto lunghe, quando il fronte d'onda arriva non perpendicolare alla riva, ma inclinato. Il risultato della somma delle forze che arrivano sulla spiaggia è una corrente che ci sposta lateralmente. Inoltre, tende a depositare la sabbia longitudinalmente, nel senso della corrente: i granelli sono catturati dall'onda e depositati subito dopo poco più a lato dall'onda successiva, per cui troveremo più sedimenti nella direzione della corrente di deriva.

Questa corrente gioca un ruolo importante nell'erosione delle spiagge e i flussi di questo tipo possono arrivare a velocità considerevoli, per cui prendete sempre un punto di riferimento sulla spiaggia, come un ombrellone o un albero, per non allontanarvi troppo.

La corrente più pericolosa che potreste trovare in mare si chiama *corrente di ritorno* (vedi figura 6).

Non tutte le spiagge ne hanno, ma non è difficile capire se la si possa incontrare una volta in acqua: se non si vedono onde rompersi, allora si può star tranquilli, perché a causarla è la grande energia delle onde che si infrangono. Mentre facevate il bagno in un mare mosso vi è capitato di sentirvi all'improvviso trascinati verso il largo? Ebbene si trattava di una corrente di ritorno.

Che cosa succede in questi casi? Dopo che l'onda si rompe, l'acqua inizia a scorrere longitudinalmente lungo la riva, finché non incontra un flusso in direzione contraria.

A questo punto, i due flussi si uniscono e tornano rapidamente verso il largo, scavando canali di profondità variabile e lasciando ai propri lati banchi di sabbia più superficiali, finché questa corrente non perde lentamente la sua forza. Se siamo a bordo di questo nastro trasportatore marino, però, potremmo trovarci molto distanti dalla riva e questa distanza dipende dalla grandezza delle onde: più sono ampie, più lontano porta la corrente di ritorno.

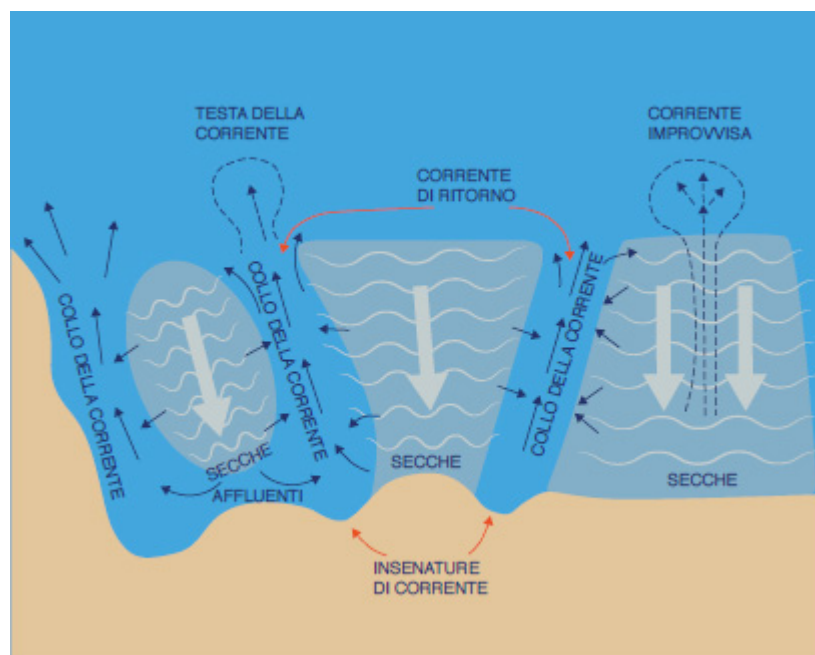



FIGURA 6 - LA CORRENTE DI RITORNO

Potreste trovarvi anche a 50-100 metri dalla riva, il che può non sembrare molto, ma dipende da quanto bene sapete nuotare.

COME SFUGGIRE A UNA CORRENTE

La corrente di ritorno è una delle cause più frequenti di annegamento, motivo per cui è meglio imparare a riconoscerla. Anzitutto l'acqua di una corrente di ritorno sarà più scura rispetto al mare circostante, perché scorre in canali profondi nella sabbia. In secondo luogo, se notate che nonostante il mare sia mosso, vi è una striscia di mare calma e poco increspata, probabilmente lì troverete una corrente di ritorno.

La spiegazione? Un effetto di interferenza che si crea quando l'acqua che torna verso il largo e quella che viene verso la riva si incontrano. Nel caso in cui non siate riusciti a individuarla e vi stia già iniziando a trascinare verso il largo, per prima cosa non fatevi prendere dal panico (il miglior amico dell'annegamento; vedi pagina 47). È più facile a dirsi che a farsi, ma cercate di pensare che la corrente non vi sta facendo annegare, vi sta solamente spostando. Una delle reazioni più comuni è nuotare contro la corrente, cercando di tornare verso la riva. Meglio evitare di farlo,

però, perché il flusso d'acqua potrebbe essere più forte di voi e vi stanchereste facilmente, anche se siete nuotatori provetti.

Se non vi sentite sicuri in acqua, restate a galla e con un braccio cercate di attirare l'attenzione; altrimenti provate a nuotare fuori dalla corrente. Solitamente le correnti sono abbastanza strette, per cui non dovrete percorrere molta strada e le risacche più comuni sono perpendicolari rispetto alla spiaggia, perciò dovreste muovervi parallelamente rispetto ad essa.

Se riuscite a individuare un'area dove l'acqua è bianca e schiumosa, lì il fondale sarà basso e potreste riuscire ad alzarvi. I buoni nuotatori possono anche decidere di lasciarsi trasportare fino alla zona in cui si iniziano a rompere le onde e rientrare verso riva seguendo il loro moto. Se, però, temete il mare, ci sono cavalloni e non sapete riconoscere una corrente, forse è meglio restare all'asciutto.

I FIUMI NEL MARE: LE CORRENTI SUPERFICIALI

Gli oceani sono sempre in movimento. Enormi flussi d'acqua si muovono come grandi fiumi in tutto il mondo e un messaggio nella bottiglia lanciato dalle coste del Portogallo può essere ritrovato in Argentina. La celebre storia delle paperelle di gomma del Pacifico ne è un esempio. Nel 1992 una nave cinese che trasportava piccoli giocattoli da bagno subì un naufragio nell'oceano Pacifico, col risultato che ventottomila paperelle si ritrovarono a galleggiare in mare aperto. Nel corso dei decenni, testimonia l'oceanografo Curtis Ebbesmeyer che ne segue tuttora il viaggio, questa "amichevole flottiglia" ha girato il mondo, arrivando a toccare le coste di Australia, Sud America e addirittura dell'Europa. Alcune paperelle si sono accumulate in quella che viene chiamata *isola di plastica del Pacifico*, una discarica di mare calmo dove galleggiano rifiuti, ma altre navigano ancora indisturbate dopo oltre vent'anni. Sono le correnti – e la dannata resistenza della plastica – in azione.

Il principale responsabile delle correnti superficiali, che corrono dai 200 metri di profondità in su, è il vento: la frizione che esercita sulle molecole d'acqua trasferisce loro il movimento, oltre a farle oscillare e a provocare le onde (vedi pagina 16). Il verso delle

correnti, quindi, dipende da quello dei flussi d'aria che regolarmente lo spingono e il loro comportamento è strettamente legato alla rotazione terrestre. Se la Terra fosse ferma, infatti, l'aria circolerebbe in traiettoria rettilinea tra aree di alta pressione, come i poli, e zone di bassa pressione, come l'equatore, ma visto che il nostro pianeta ruota, entra in azione l'effetto di Coriolis che ne modifica la traiettoria. Questo dipende dal fatto che i punti sulla superficie della Terra non si muovono tutti alla stessa velocità: i luoghi che si trovano all'equatore andranno più veloci rispetto a quelli che sono in prossimità dei poli. La ragione è che i primi, per compiere un giro intero attorno all'asse terrestre, percorrono una circonferenza maggiore rispetto ai secondi (la Terra è più larga al suo equatore che verso i poli). Pertanto, quando un vento parte dall'equatore verso nord con una certa velocità di rotazione attorno all'asse, raggiungerà il polo che intanto avrà viaggiato più lentamente. La sua traiettoria allora risulterà deviata. Perciò i venti dell'emisfero boreale che dall'equatore vanno verso il polo nord tendono verso est, mentre quelli che fanno il percorso contrario verso ovest. Nell'emisfero australe, invece, seguono un andamento opposto, ovvero dall'equatore al polo sud tendono a est, viceversa a ovest. Le correnti superficiali spinte dai venti si configurano, quindi, come cinque grandi giri che ruotano in senso orario nell'emisfero boreale e antiorario nell'emisfero australe (vedi figura 7): i giri dell'oceano Atlantico del Nord e del Sud, quelli dell'oceano Pacifico del Nord e del Sud, e infine quello dell'Oceano Indiano.

Il fiume marino più conosciuto, però, è sicuramente la *corrente del Golfo*, una componente del giro dell'Atlantico del Nord molto utile a spiegare quanto i movimenti oceanici influenzino il clima.

Questo flusso ha origine nelle calde acque tropicali del golfo del Messico, costeggia le sponde orientali degli Stati Uniti risalendo verso nord, attraversa l'oceano Atlantico e arriva sulle coste di Spagna, Francia e Regno Unito, spingendosi fino all'Islanda e alla penisola scandinava. Una parte delle acque scende, invece, verso le isole Canarie, costeggiando l'Africa occidentale, e raggiunge l'equatore, attraversando di nuovo l'Atlantico e riallacciandosi al punto di partenza. Questo gigantesco fiume, largo in media circa 70 chilometri, può arrivare a percorrere oltre 160 chilometri in un giorno e trasportare in un secondo 55 milioni di metri cubi di acqua. Le calde acque che

arrivano dal golfo del Messico contribuiscono ad attenuare le rigide temperature dei paesi nordeuropei. Per questo motivo gli scienziati sono preoccupati che il riscaldamento globale possa rallentare la corrente del Golfo, inasprendo gli inverni europei.

I FIUMI SUBACQUEI: LE CORRENTI PROFONDE

Anche nelle profondità degli oceani scorre acqua. Si tratta di correnti più lente e governate da una legge ferrea: quella della densità, per la quale le acque più dense restano sul fondo, mentre quelle più leggere stanno in superficie. La densità, a sua volta, dipende strettamente da due parametri: temperatura e salinità. Per questo le correnti profonde fanno parte di quella che viene chiamata *circolazione termoalina*, dal greco *θερμός* (termos, “temperatura”) e *ἁλός* (alos, “sale”). A maggiore temperatura e minore salinità corrispondono acque più leggere e superficiali, mentre quelle più dense saranno fredde, molto salate e più profonde (vedi box *Le tre zone degli oceani*). Flussi con salinità e temperatura diverse, inoltre, tendono a non mischiarsi tra loro, ma a rimanere compatti e scivolare l’uno sopra l’altro.

Anche per le correnti profonde è possibile tracciare una mappa che descriva i flussi a livello mondiale e che si chiama *Global Conveyor Belt*, letteralmente il “nastro trasportatore globale”, che indica non solo il percorso, ma anche i luoghi in cui avvengono i principali scambi tra acqua densa e leggera. Provate a indovinare: dove si potrebbero inabissare i flussi più freddi e salati? La risposta è a nord dell’oceano Atlantico, verso la Groenlandia (vedi figura 8). Lì l’acqua che arriva dalla corrente del Golfo da un lato si raffredda, diminuendo così il proprio volume, e dall’altro avvicinandosi al congelamento, rilascia i sali, aumentandone la concentrazione nell’ambiente circostante. Questo è solo l’inizio di un lungo percorso che porterà le acque prima a raffreddarsi nuovamente nella regione antartica, poi a risalire grazie al calore delle zone tropicali e temperate nell’Oceano Indiano e Pacifico, e infine a inabissarsi nuovamente verso l’Artico. Si stima che una singola molecola d’acqua impieghi in media mille anni per fare un giro completo del nastro.

Le correnti profonde sono molto importanti per i cicli globali di nutrienti e anidride carbonica, poiché le acque superficiali calde, infatti, sono povere di sostanze nutritive e CO_2, ma vengono arricchite nuovamente di questi elementi con il passaggio negli strati profondi inferiori. La base della catena alimentare del mondo dipende dalle fresche acque che sono ricche di sostanze nutritive e sostengono la crescita delle alghe ed è per questo che, nel caso in cui il fenomeno fosse rallentato dal riscaldamento globale, le ripercussioni potrebbero essere molto gravi.

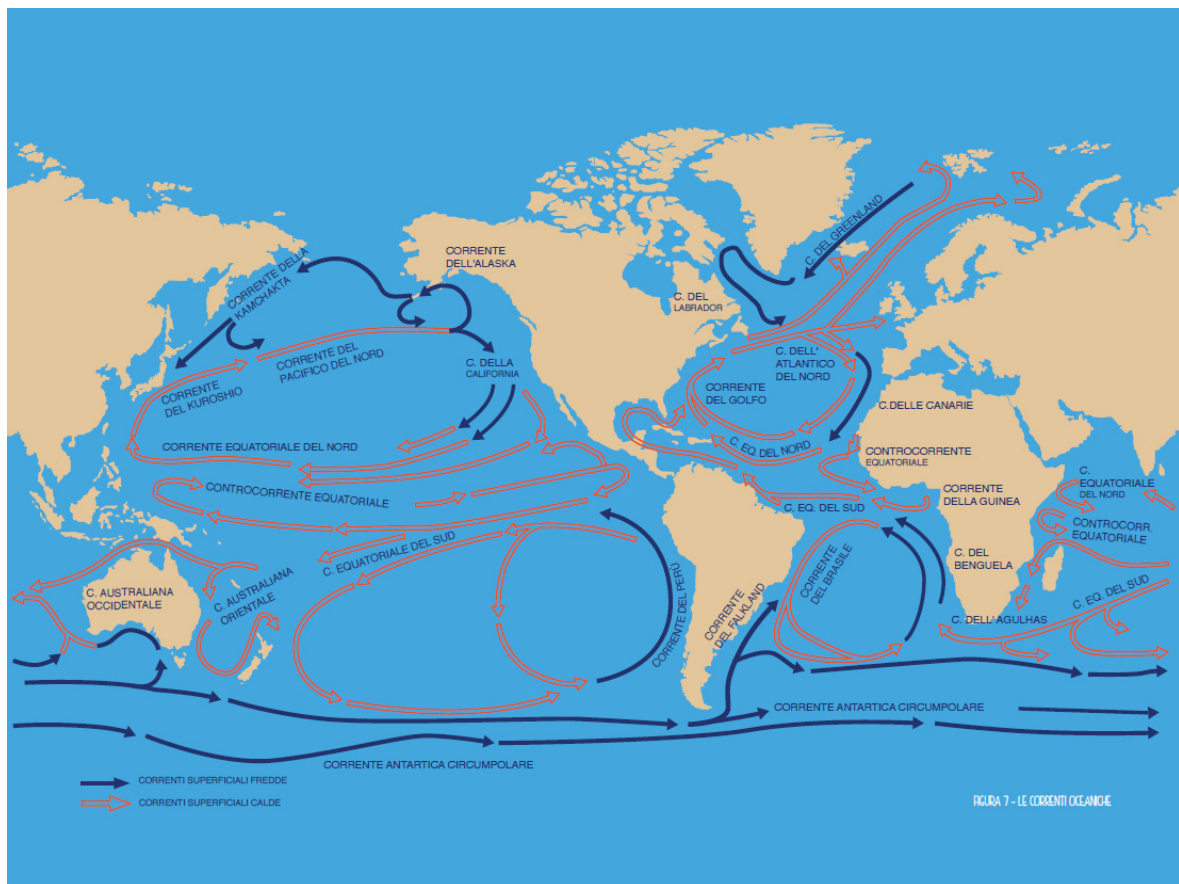



FIGURA 7 - LE CORRENTI OCEANICHE

LE TRE ZONE DEGLI OCEANI

La densità dell’acqua dipende dalla sua temperatura e dalla sua salinità: è maggiore all’aumentare della concentrazione di sale e della pressione, e al diminuire della temperatura. Le acque fredde e salate, quindi, saranno più dense di quelle calde e più dolci. In base a questa legge, gli oceani sono divisi in tre diversi strati di densità. Esiste una *zona superficiale* che comprende circa il 2 per cento dei mari, con temperatura e salinità costanti – indipendentemente dalla profondità – a

causa dell'azione di onde e correnti, e che tipicamente si estende fino a 150 metri dalla superficie, ma può arrivare fino a 1000 metri o essere addirittura assente. Il *picnoclino*, invece, è una zona in cui la densità aumenta molto rapidamente scendendo verso il fondo, comprende circa il 18 per cento di tutti gli oceani e separa le acque superficiali dall'ultimo strato, la *zona profonda*, che corrisponde all'80 per cento dei mari e va al di sotto dei 1000 metri di profondità. Anche in questo caso le acque diventano più dense avvicinandosi al fondale, ma più lentamente.

CORRENTI DEL MEDITERRANEO

Il nostro Mediterraneo è un mare alquanto particolare e la circolazione delle sue acque è molto complessa e fortemente influenzata dai venti. Ha un'evaporazione pronunciata che i grandi fiumi non riescono a bilanciare e per questo motivo esiste una corrente praticamente continua che dall'oceano Atlantico, attraverso lo stretto di Gibilterra, trasporta acqua con minore concentrazione di sale. Questo flusso leggero e superficiale costeggia l'Africa andandosi a disperdere pian piano, una volta superata l'Algeria. Nel nostro mare, però, scorrono anche correnti termoaline. Le acque profonde del Mediterraneo si formano nel golfo del Leone, a sud di Otranto in Puglia e nel mare Egeo settentrionale. Queste correnti si trovano principalmente in inverno, quando i venti freddi da nord raffreddano le acque, aumentandone la densità, fino a farle affondare. In risposta a questo processo, acque profonde risalgono dal fondale, contribuendo ad aumentare la concentrazione di principi nutritivi presenti nel bacino del Mediterraneo.

COME TENERE AL FRESCO LE BIBITE IN SPIAGGIA

Stare su una spiaggia assolata, anche se all'ombra, può essere duro. Uno dei modi per non "squagliarsi" e restare sempre idratati è bere molto.

A chi piace ingurgitare litri di liquido che sembra brodo per quanto è caldo?

Alcune volte, infatti, borsa frigo e bottigliette ghiacciate non bastano e allora meglio imparare qualche trucco per tenere le bibite fredde, o addirittura rinfrescarle anche sotto il sole. È una questione di fisica e chimica.

Uno dei metodi più semplici per proteggere una bottiglia d'acqua dal calore della spiaggia, strano a dirsi, è seppellirla sotto la sabbia, lasciando solamente il tappo visibile. Lo strato di sedimenti inferiore, più

fresco rispetto a quello superficiale, non solo la proteggerà dai raggi del sole, ma la isolerà meglio, riducendo la dispersione del freddo. Ancora meglio, se siete molto vicini alla riva e non disturbate il passaggio di nessuno, seppellitela proprio al limite della battigia: l'acqua contenuta nella sabbia umida, evaporando sotto il sole, sottrarrà calore alla bottiglia. Unico accorgimento: ricordatevi dove l'avete sepolta.

Che fare invece quando la nostra bottiglia è ormai calda? Anche in questo caso potete ricorrere al potere dell'evaporazione. Se in spiaggia c'è vento e avete un calzino – si spera pulito – a portata di mano, infilateci dentro la bottiglietta e poi immergetelo in mare. Fatto questo, appendetelo a un ramo resistente e aspettate che le folate d'aria lo asciughino: l'acqua sarà decisamente più fresca. In mancanza di vento, calzini e alberi, ricoprite la bottiglia con un panno o dei fazzoletti di carta bagnati, poi lasciatela al sole fino a quando non saranno secchi. Perché l'evaporazione rinfresca? Il passaggio di stato dell'acqua da liquido a gassoso è un processo che richiede energia, che in parte viene assorbita dallo spettro infrarosso del sole, in parte dalla bottiglia. È in base a questo principio che lavorano i condizionatori d'aria, ma lo possiamo sperimentare direttamente sulla nostra pelle. Quando usciamo dalla doccia e iniziamo ad asciugarci, sentiamo più fresco: è l'acqua che evaporando ci sottrae calore. Un ultimo modo, che può essere anche utilizzato a casa, richiede maggiore preparazione ma fa molta scena. Non solo vi dovrete portare una bottiglia, ma anche qualche altra bottiglietta d'acqua ghiacciata (ancora meglio se non potabile) e una bacinella che le possa contenere quasi perfettamente. Ecco come procedere quando la vostra acqua sarà ormai calda. Riempite il contenitore di acqua di mare, poi immergete le bottigliette ancora ghiacciate senza tappo, così che il liquido vada a contatto con il ghiaccio, e infine mettete la bottiglia che volete raffreddare, poi mischiate il tutto con un utensile e aspettate qualche minuto: la vostra acqua sarà più fresca. Il trucco è nella combinazione tra acqua, sale e ghiaccio. L'acqua salata, infatti, ha una temperatura di congelamento inferiore rispetto all'acqua dolce (quella di mare congela a circa -2 °C) e ciò che avviene quando immergiamo il ghiaccio in acqua è molto semplice: da un lato, il ghiaccio tenterà di congelare l'acqua circostante e, dall'altro, l'acqua proverà a scioglierlo. In presenza di sali, però, vince l'acqua: il ghiaccio si scioglie con più facilità, assorbendo così calore dalla soluzione e raffreddandola, e ciò viene chiamato una *miscela frigorifera*. Nell'antichità il gelato era prodotto in questo modo, girando il composto in un contenitore immerso in acqua, sale e ghiaccio. Potete fare lo stesso anche a casa per refrigerare velocemente una bevanda quando arrivano ospiti inattesi: immergete la bottiglia della bevanda in questione in dell'acqua in cui avrete messo del normale sale da cucina; per raffreddare maggiormente la bottiglia, basta semplicemente aggiungere sale. Così facendo si può arrivare fino a -21 °C: attenzione a non bruciarvi, quindi.

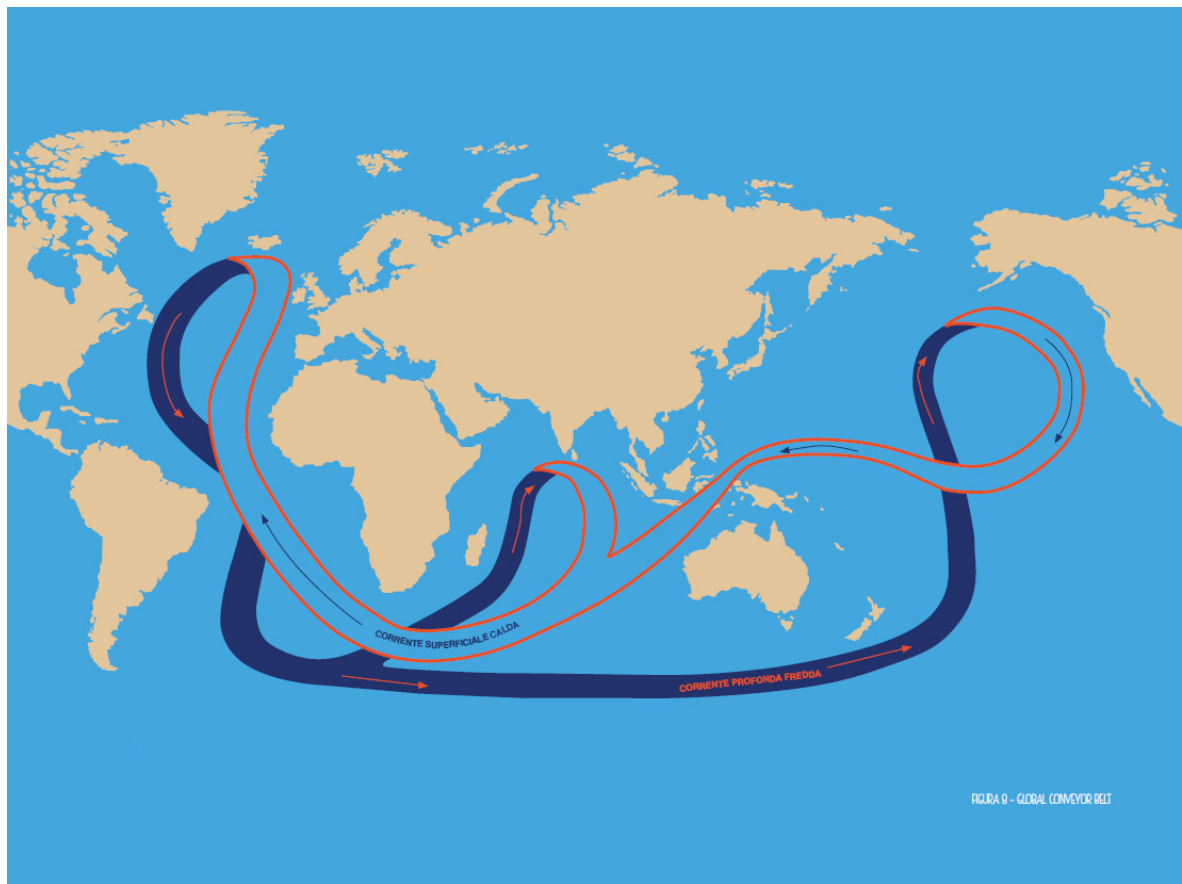
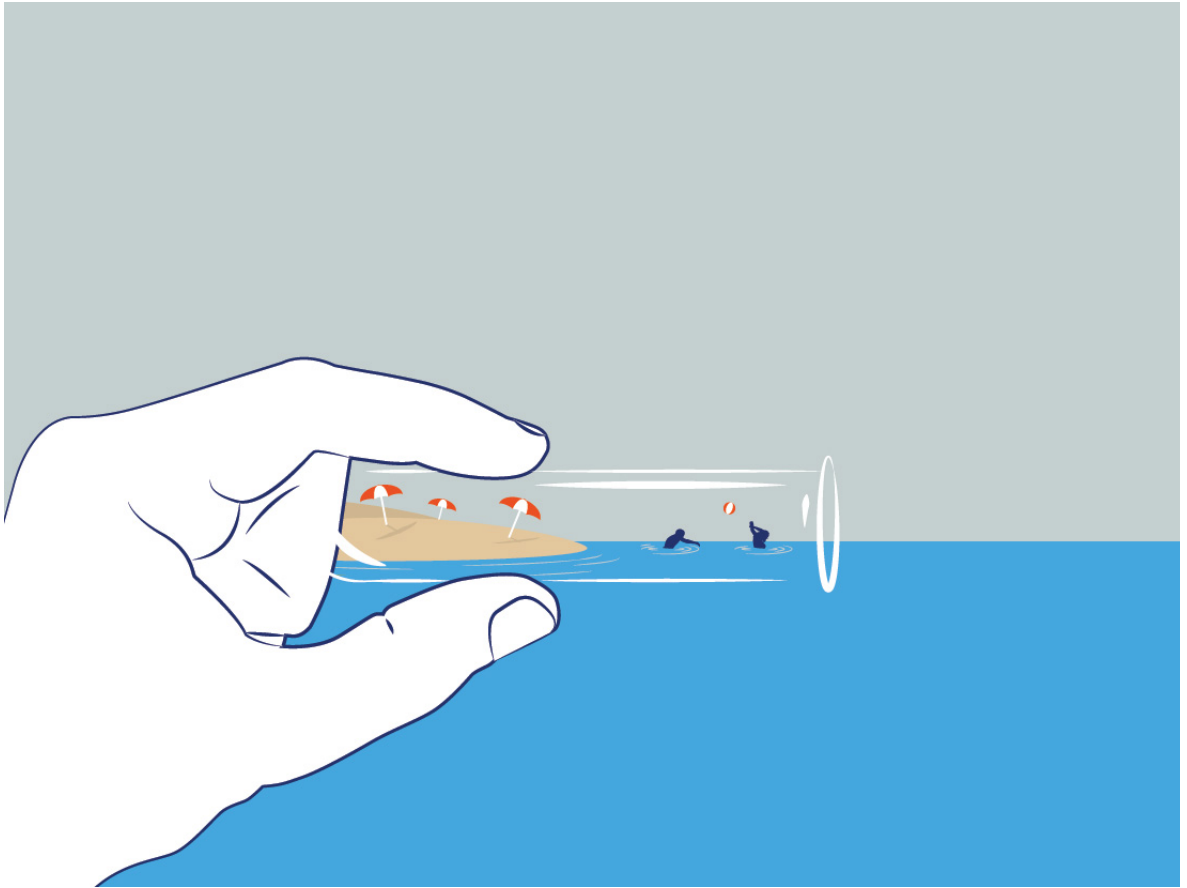



FIGURA 8 - GLOBAL CONVEYOR BELT

PERCHÉ L'ACQUA DEL MARE È SALATA?

Dopo un bel bagno in mare, capita che una volta asciugati al sole ci resti sulla pelle una pellicola bianca. Basta strofinarci sopra un dito e portarlo sulla punta della lingua per sentire quanto sia salata: sono i sali minerali rimasti dopo l'evaporazione delle gocce d'acqua e in particolare il cloruro di sodio (il comune sale da cucina). Perché l'acqua di mare è salata, mentre quella dei fiumi no? La risposta è nel meccanismo dell'evaporazione e nella struttura del nostro pianeta.

CHI PORTA IL SALE AL MARE

In realtà anche l'acqua dei fiumi contiene sali minerali, sebbene in percentuale molto più bassa. Durante il loro percorso dalla fonte alla foce, i fiumi infatti dissolvono diversi composti presenti nelle rocce su cui corrono (un fenomeno chiamato *meteorizzazione*) e li trasportano in mare, dove avviene una delle fasi importanti del ciclo dell'acqua: l'evaporazione. Sotto l'effetto dei raggi solari, grandi masse d'acqua marina evaporano, lasciandosi alle spalle tutti i sali trasportati dai fiumi.

Siete poco convinti che i mari evaporino? Fate una prova: mettete in un recipiente largo e basso tanta acqua da coprire appena il fondo, aggiungete un cucchiaio di sale da cucina, mescolate finché non si sarà sciolto e ponete il tutto al sole. Nel giro di qualche ora, l'acqua sarà evaporata e nel contenitore troverete il sale che avevate aggiunto. Un consiglio: maggiore sarà la superficie d'acqua esposta al sole, minore sarà il tempo in

cui questa evaporerà (meglio un contenitore basso e largo, quindi).

Non tutti i sali provengono dalle rocce, però, e una parte importante deriva dai meccanismi che coinvolgono le profondità della Terra.

Al di sotto dello strato roccioso chiamato *crosta*, infatti, scorre il magma del mantello, che alcune volte risale verso la superficie, per cui vulcani sottomarini, sorgenti idrotermali e spaccature aggiungono nuovi elementi alla già ricca composizione salina degli oceani.

Nel corso di milioni di anni, questi due processi hanno continuato ad aumentare la concentrazione dei sali nei mari, rendendoli come sono ora.

TUTTI I SALI NELL'ACQUA DI MARE

L'acqua di mare ha una salinità (percentuale di sali disciolti) pari a circa il 3,5 per cento.

Questo significa che se si fa bollire un chilo di acqua di mare, di questa resteranno 35 grammi di sale. In totale, gli oceani contengono 5,5 miliardi di tonnellate di sali: se le loro acque evaporassero tutte insieme, lascerebbero uno strato uniforme spesso una quarantina di centimetri.

Che tipo di sali sono disciolti in acqua? Sodio e cloro (il cloruro di sodio, NaCl, il sale da cucina di cui parlavamo) sono i principali costituenti, coprendo circa l'85 per cento del totale (vedi grafico 1); a seguire ci sono solfato (SO_4, 8 per cento), poi magnesio (Mg, 4 per cento), calcio e potassio (Ca e K, entrambi con circa l'1 per cento).

IL MARE DIVENTERÀ SEMPRE PIÙ SALATO?

No, secondo gli scienziati gli oceani hanno raggiunto un equilibrio chimico (che però potrebbe alterarsi con il riscaldamento globale). Dai fiumi arrivano tanti sali quanti in realtà sono quelli estratti dall'acqua. In che modo? Esistono meccanismi di origine biologica che riutilizzano questi sali dissolti, "rubandoli" al mare. Nei propri tessuti la maggior parte degli organismi marini ha infatti una concentrazione salina molto simile a quella dell'acqua

circostante: sodio e potassio sono essenziali nelle cellule, poiché svolgono un'importante funzione nel trasmettere i segnali tra i neuroni.

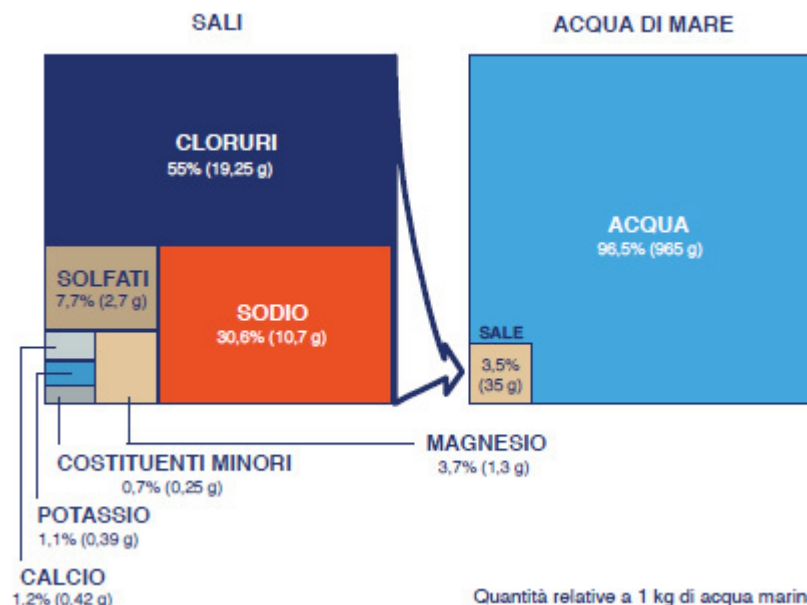



GRAFICO 1 - LA CONCENTRAZIONE DEI SALI NELL'ACQUA

Un altro esempio sono le conchiglie (vedi pagina 94), strutture costruite dai molluschi a partire da un altro sale, il carbonato di calcio ($CaCO_3$). Morto l'organismo, i frammenti di conchiglia diventeranno sedimenti ricchi di minerali che, a loro volta, possono scomparire nei movimenti delle placche tettoniche sulla crosta terrestre e, trasportati nel mantello, si sciolgono nel magma sottostante.

ANCHE I LAGHI POSSONO ESSERE SALATI

Un esempio di lago salato è il Mar Morto, tra Giordania e Israele, le cui acque hanno una salinità intorno al 30-35 per cento (circa dieci volte superiore a quella degli oceani). Un tale aumento nella concentrazione di sali minerali è dovuto alla mancanza di vie di uscita: il Mar Morto ha come immissari il fiume Giordano, l'Arnon e altri corsi d'acqua, ma nessun emissario, pertanto i sali hanno continuato a concentrarsi nel lago senza essere portati via verso gli oceani. Un discorso diverso si può fare per il

Mar Rosso, un mare interno tra la penisola araba e quella africana. In questo caso il 4 per cento di salinità è dovuto all’alto tasso di evaporazione, alle poche precipitazioni e a flussi dalla scarsa portata che vanno dal mare verso l’oceano.

UN MARE DI QUALITÀ

Ai più romantici basterà guardarlo trasognati dalla spiaggia per dire "Che bel mare". I più scettici, invece, vogliono che un mare oltre ad essere bello, sia anche pulito e in salute. Per verificarlo, però, non basta guardare quanto sia cristallina l'acqua.

TRASPARENTE E LIMPIDA SIGNIFICA PULITA?

Purtroppo non è sempre vero che un'acqua trasparente e limpida sia pulita, poiché queste caratteristiche sono legate alle particelle in sospensione e bastano un po' di sabbia, di detriti o di microalghe per renderla torbida, anche se si tratta del mare più pulito del mondo.

Le acque dell'Adriatico, per esempio, sono molto più scure e torbide di quelle delle Maldive. Tutta colpa dell'inquinamento? No, o almeno non del tutto.

Il mar Adriatico è un eutrofico naturale, cioè la sua conformazione geografica rende più difficile la dispersione delle acque cariche di nutrienti, che facilitano la crescita di alghe e fitoplancton (vedi pagina 72).

Un fenomeno, questo, che l'inquinamento ha amplificato, dal momento che il Po trasporta in mare composti come fertilizzanti e detersivi, ricchi in azoto, fosforo e zolfo.

IDENTIKIT DI UN MARE IN SALUTE

In quale situazione l'ecosistema marino può dirsi pulito ed equilibrato? Gli scienziati che analizzano le acque fanno

particolarmente attenzione alla presenza di alcuni elementi, ecco i principali.

- *Batteri* In acqua si possono trovare diversi tipi di microrganismi e di batteri fecali che, anche se non pericolosi di per sé, rischiano di accompagnarsi a virus e altri patogeni che possono trasmettere malattie. Per esempio, nelle acque balneari si monitora solitamente la presenza del batterio *Escherichia coli*, che normalmente vive nel nostro intestino e in quello degli altri animali a sangue caldo, e un aumento insolito nella sua concentrazione può indicare malfunzionamenti negli impianti di depurazione, perdite nelle fosse biologiche o presenza di rifiuti di origine animale (dovuti a coltivazioni fertilizzate o allevamenti vicini).
- *Nutrienti* Sono le sostanze di cui l'ambiente marino ha bisogno per crescere e svilupparsi. I due principali elementi sono azoto e fosforo. Troppi nutrienti, come nel caso dell'*eutrofizzazione*, possono danneggiare gli organismi acquatici, soffocati dalla crescita incontrollata di alghe e possono anche influenzare il pH, la trasparenza dell'acqua e la temperatura. Se il mare ha un cattivo odore, inoltre, può essere dovuto proprio ad alcune di queste sostanze.
- *Ossigeno disciolto* È un importante parametro da tenere in considerazione: un'acqua poco satura di ossigeno non è adatta alla vita, dal momento che per respirare i pesci assorbono proprio l'ossigeno disciolto (vedi pagina 128). Questo gas può arrivare dall'atmosfera o dalla fotosintesi delle piante acquatiche e, dopo essersi diluito in acqua, viene diffuso dalle correnti. La saturazione di ossigeno si misura in milligrammi per litro e dipende da parametri come temperatura e salinità: a 15 °C al massimo si potranno avere 10 mg/l (saturazione al 100 per cento). Se questa percentuale scende al di sotto del 30 per cento, si parla di ipossia e l'ambiente diventerà invivibile per la maggior parte dei pesci. Una delle cause di questa situazione è, come abbiamo detto, l'eutrofizzazione: l'affollamento di alghe e fitoplancton riduce gli scambi gassosi tra superficie del mare e atmosfera, e inoltre quando questi organismi muoiono, i batteri li decompongono sul fondale, consumando O_2.
- *Temperatura* Questa è importante per molti processi fisici, biologici e chimici. Un esempio riguarda l'ossigeno disciolto,

come abbiamo visto, ma anche la fotosintesi delle piante, il metabolismo degli animali, la sensibilità degli organismi a rifiuti, parassiti e malattie. La temperatura dell'acqua dipende da quella atmosferica, dalla nuvolosità e dalla presenza di correnti.

- *pH* È una misura che indica la concentrazione di ioni idrogeno in una soluzione. Se il pH è vicino a 0, si parlerà di acido, se invece è prossimo a 14, saremo di fronte a una soluzione basica. All'acqua pura a 25 °C corrisponde un pH pari a 7 (soluzione neutra), mentre quello dell'acqua di mare varia tra 7,5 e 8,4. Il cambiamento nella concentrazione di idrogeno influenza il dissolvimento dei composti e la sopravvivenza stessa degli organismi acquatici (vedi pagina 123). Il pH può essere modificato da scarichi industriali, residui agricoli di pesticidi e fertilizzanti, oppure dall'anidride carbonica che immettiamo nell'atmosfera (vedi pagina 166).
- *Sostanze tossiche* Sono metalli, pesticidi e oli. Una delle sostanze più conosciute è il mercurio, che arriva da miniere, centrali elettriche e inceneritori, finendo poi nei pesci che mangiamo (vedi pagina 92); altri metalli pericolosi sono, per esempio, il piombo e il cromo.
- *Torbidità* Misura la trasparenza dell'acqua, così da determinare quante particelle ci siano in sospensione. I mari torbidi hanno una ridotta penetrazione della luce, che causa minore crescita delle piante e di conseguenza una diminuzione di cibo per pesci e invertebrati.

GLI OCEANI SONO SEMPRE PIÙ ACIDI

L'ambiente marino è in pericolo e i responsabili siamo noi che continuiamo ad "affollare" l'atmosfera con grandi quantità di gas serra, provocando così un aumento globale delle temperature. Secondo le stime più pessimistiche, entro la fine del secolo arriveremo a 2 °C in più rispetto al periodo 1850-1900, a quanto dicono gli scienziati dell'Intergovernmental Panel on Climate Change.

Le conseguenze, tuttavia, non riguardano solo temperatura e livello delle acque (vedi pagina 144). Uno dei problemi è anche lo scioglimento dell'anidride carbonica nei mari, che rende gli oceani sempre più acidi, rompendo il delicato equilibrio che garantisce la vita sott'acqua.

L'acidità di una soluzione (come si legge nella pagina precedente) dipende dalla concentrazione di ioni idrogeno e si indica con il pH. Quando l'anidride carbonica interagisce con l'acqua forma l'acido carbonico (H_2CO_3), che a sua volta si dissocia in ioni idrogeno (H^+) e ioni bicarbonato (HCO_3^-). Una parte di idrogeno viene neutralizzata dalla presenza naturale di ioni carbonato (CO_3^-), formando bicarbonato, ma il bilancio netto resta a favore dell'idrogeno e sono proprio questi ioni H^+ che fanno aumentare l'acidità dell'acqua di mare.

Secondo gli scienziati del Third Symposium on the Ocean in a High-CO_2 World, dall'inizio della rivoluzione industriale gli oceani sono passati da un pH di 8,2 a uno di 8,1. Ciò può sembrare poco ma, parlando di una scala logaritmica, è pari a un incremento di acidità del 26 per cento e le previsioni più buie arrivano a stimare una crescita del 170 per cento entro il 2100.

Gli effetti per il pianeta e la vita marina rischiano di essere sconvolgenti. Anzitutto più anidride carbonica viene assorbita dagli oceani, più diminuisce la loro capacità di farlo e questo significa più CO_2 in atmosfera ad alimentare l'effetto serra. Basti pensare che dal 1850 i mari sono stati capaci di sostenere il 30 per cento di tutta l'anidride prodotta dagli esseri umani e che tuttora ne vengono diluiti in acqua 24 milioni di tonnellate al giorno. Perdere quest'ancora di salvezza aggraverebbe una situazione già molto difficile.

Alcune specie risentono direttamente della maggiore acidità degli oceani. I molluschi, per esempio, avrebbero grandi difficoltà a costruire e mantenere integre le proprie conchiglie, a causa della scarsità di carbonato. Stesso discorso per coralli e barriere coralline, che potrebbero essere dissolti dalle acque, mentre altre specie vegetali, come la poseidonia e diverse alghe, potrebbero beneficiare dell'anidride carbonica in eccesso. Tutto questo porterebbe a un impatto pesante sulla catena alimentare e sulla biodiversità, fino a influenzare la vita umana. L'unica soluzione? Diminuire la quantità di CO_2 che immettiamo nell'atmosfera.

COME FUNZIONANO LE CREME SOLARI

Sarà capitato a tutti di trovarsi con una fastidiosa scottatura, dopo una giornata passata al mare. È il sintomo più doloroso di un nostro errore: abbiamo passato troppo tempo al sole e non ci siamo protetti abbastanza con la crema solare. Ma che cosa ci fa scottare? I responsabili, ovviamente, sono i raggi del sole.

RAGGI CHE SCOTTANO

La luce, come abbiamo visto (vedi pagina 39), è una radiazione elettromagnetica composta di onde di diverse lunghezze ed energie. Lo spettro con energie appena superiori a quelle del visibile si chiama *ultravioletto* e corrisponde a lunghezze d'onda tra 400 e 100 nanometri (miliardesimi di metro). I raggi ultravioletti (UV) si dividono in UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) e UVC (100-280 nm): gli UVA sono i più deboli, mentre gli UVC i più potenti (e pericolosi).

Per fortuna, la nostra atmosfera riesce parzialmente a filtrarli (vedi box *L'ozono nemico dei raggi ultravioletti*). Se i raggi UVC sono totalmente assorbiti dall'atmosfera e la quantità di UVB è molto ridotta, gli unici ad arrivare quasi indisturbati sulla superficie terrestre sono gli UVA.

Anche un'altra classe di raggi passa indenne l'atmosfera: sono gli *infrarossi*, i principali responsabili del calore che sentiamo sulla pelle. Questa sensazione ci può trarre in inganno: possiamo ustionarci anche se non proviamo caldo.

COME SONO FATTI I RAGGI ULTRAVIOLETTI

La forza dei raggi ultravioletti che attraversano l'atmosfera dipende da diversi fattori (vedi figura 1). In primo luogo, dall'altezza del sole sull'orizzonte, che varia non solo durante il giorno ma anche nel corso dell'anno: alla sua massima altitudine durante la giornata (*zenit*) – alle ore 12 se vige l'ora solare o alle 13 per l'ora legale –, riceviamo i raggi ultravioletti più potenti, che risultano ancora peggiori durante il periodo estivo. Tra le 10 e le 14, inoltre, è concentrato il 60 per cento di tutta la radiazione ultravioletta che l'atmosfera assorbe durante la giornata.

Un altro fattore che contribuisce è la latitudine, per cui se si è più vicini all'equatore, si ricevono più raggi ultravioletti. Che dire poi dell'altitudine? Ogni volta che si sale di 1000 metri, la concentrazione di ultravioletti aumenta del 10-12 per cento. Attenzione in montagna, quindi, anche perché la neve riflette circa l'80 per cento dei raggi ultravioletti; e lo stesso principio vale per la sabbia, che arriva però fino al 25 per cento.

E in acqua? Oltre ad essere riflessi e concentrati dal mare, parte di questi ultravioletti riesce ad attraversarlo: a mezzo metro di profondità sono ridotti solo del 40 per cento rispetto alla superficie. L'ombra, invece, ne diminuisce l'esposizione di circa il 50 per cento. Inoltre, bisogna sapere che anche le nuvole sono facilmente superabili: fanno passare fino al 90 per cento dei raggi ultravioletti.

UN INDICE PER I RAGGI ULTRAVIOLETTI

Per rendere più facilmente comprensibile il rischio degli ultravioletti è stato sviluppato un pratico indice da usare nei servizi meteorologici. Si chiama *UV Index* e indica la forza dei raggi, con un punteggio che dipende da tutti i fattori che abbiamo descritto (vedi tabella 1). Si va dal rischio basso (da 1 a 2: si può stare all'aperto senza alcuna protezione), passando per uno moderato e alto (da 3 a 5 e da 6 a 7: è necessaria la protezione di cappello, vestiti, occhiali da sole e crema solare, bisogna cercare l'ombra e si deve evitare l'esposizione nelle ore centrali del giorno), fino a uno molto alto ed estremo (da 8 a 10 e che supera l'11: oltre alle protezioni, si deve assolutamente stare al coperto nelle ore centrali del giorno).

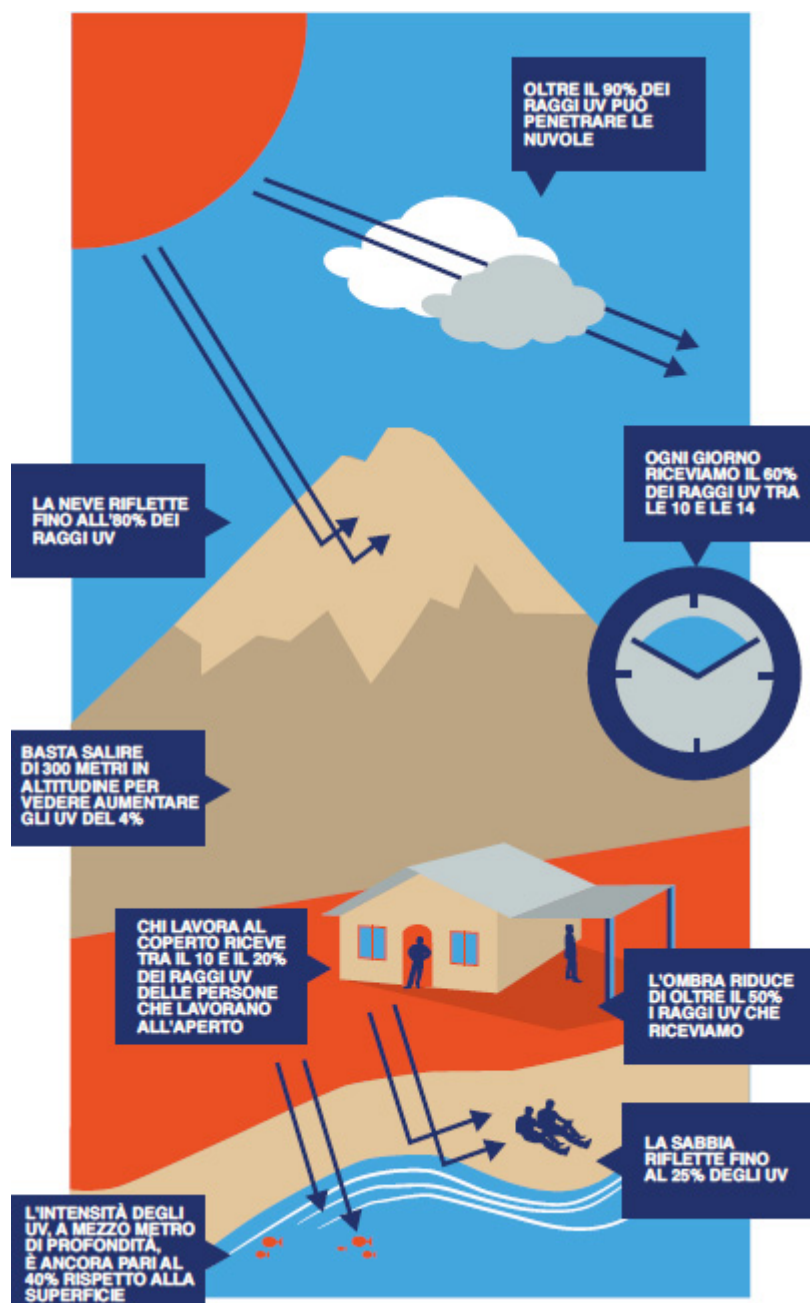



FIGURA 1 - I RAGGI ULTRAVIOLETTI TRA MARE E MONTAGNA

PITTOGRAMMA	INTENSITÀ DELLA RADIAZIONE	PROTEZIONE
UV INDEX 1, UV INDEX 2	DEBOLE	NON È NECESSARIO PROTEGGERSI
UV INDEX 3, UV INDEX 4, UV INDEX 5	MODERATA	**PROTEGGERSI:** CAPPELLO, MAGLIETTA, OCCHIALI DA SOLE, CREMA SOLARE
UV INDEX 6, UV INDEX 7	ELEVATA	**PROTEGGERSI:** CAPPELLO, MAGLIETTA, OCCHIALI DA SOLE, CREMA SOLARE
UV INDEX 8, UV INDEX 9, UV INDEX 10	MOLTO ELEVATA	**INTENSIFICARE LA PROTEZIONE:** EVITARE, SE POSSIBILE, DI RESTARE ALL'APERTO
UV INDEX 11	ESTREMA	**INTENSIFICARE LA PROTEZIONE:** EVITARE, SE POSSIBILE, DI RESTARE ALL'APERTO

TABELLA 1 - COME SI LEGGE L'UV INDEX

GLI EFFETTI SULLA PELLE

Queste radiazioni hanno diversi effetti dannosi sulla nostra pelle (per il loro ruolo nell'abbronzatura vedi pagina 75). Gli UVA penetrano a fondo nella cute, fino ad arrivare a tessuti connettivi e capillari, facendole perdere elasticità e corrugandola. Le conseguenze? Invecchiamento precoce e maggiore probabilità di contrarre un tumore cutaneo. I raggi UVB, invece, non arrivano in profondità, ma grazie alla loro minore lunghezza d'onda, possono spezzare legami molecolari e alterare il DNA delle cellule cutanee, aumentando la probabilità di avere un cancro alla pelle. Ecco perché ci si deve proteggere con le creme solari.

SPALMA TU CHE SPALMO IO

Le creme solari funzionano da filtro e bloccano i dannosi raggi ultravioletti, ma le strategie a cui si ricorre possono essere diverse. Alcune molecole organiche sono in grado di assorbire la luce ultravioletta e trasformarla in calore, mentre altre inorganiche, come il biossido di titanio e l'ossido di zinco, possono riflettere o disperdere i raggi.

La potenza di questo filtro, una pellicola di cui rivestiamo la nostra pelle per proteggerla, può essere di diverse gradazioni, tutto dipende dal fattore di protezione solare (*Solar Protect Factor*, SPF). Tuttavia, bisogna fare chiarezza sul fantomatico numero che si legge sulle confezioni delle creme solari. Anzitutto va detto

che questo si riferisce alla protezione dai raggi ultravioletti di tipo B, perché purtroppo non esiste una scala precisa che indichi quanto una crema schermi dagli UVA. In Europa su ogni confezione deve essere indicato in modo chiaro se la protezione è valida per entrambi i tipi di ultravioletti e, in questo caso, lo schermo per gli UVA deve essere potente almeno un terzo di quello per gli UVB.

Che cosa indica, quindi, il fattore di protezione solare? È un numero che mette in relazione il tempo che impieghiamo a scottarci con o senza filtro. Facciamo un esempio. Se in una data situazione il nostro fototipo (vedi pagina 116) ci mette dieci minuti ad arrossarsi, con una protezione 15 ci vorranno ipoteticamente due ore e mezza (basta moltiplicare i dieci minuti per il fattore di protezione). Tuttavia si tratta di un fattore indicativo: una scottatura dipende non solo dal proprio fototipo, ma anche dall'ora del giorno alla quale ci si espone al sole, dalle condizioni meteo, dalla posizione geografica, e chiaramente anche da quanto sudiamo o da un eventuale bagno.

Un altro modo per capire come funzioni il fattore di protezione solare si basa sulla percentuale di raggi filtrati. Una protezione 15, per esempio, assorbe o riflette circa il 93 per cento di UVB, mentre uno schermo 30 arriva solo fino al 97 per cento. Al raddoppiare del fattore in realtà, quindi, non raddoppia anche la protezione, che aumenta solo di poco. Ecco perché ormai tutte le creme solari superiori a 50 vengono descritte come 50+: mettere un fattore più alto sarebbe ingannevole, visto che il miglioramento è di pochissimi decimi di punti percentuali. Per lo stesso motivo in Europa è stato vietato scrivere "protezione totale", semplicemente perché non esiste.

COME FUNZIONANO LE CREME AUTOABBRONZANTI

Questi prodotti sono usati per ottenere rapidamente un'abbronzatura senza esporsi al sole. Non contengono alcun tipo di filtro solare, non rendono la pelle più protetta nei confronti dei raggi solari e il loro principale ingrediente è il diidrossiacetone (DHA), una molecola formata da carbonio, idrogeno e ossigeno ($C_3H_6O_3$). Assorbita dalla cute, la crema interagisce temporaneamente con una proteina che si trova negli strati superficiali dell'epidermide (cheratina) e la rende più scura – un

meccanismo diverso da quello dell'abbronzatura naturale (vedi pagina 114). C'è bisogno di alcune ore prima di avere questo effetto, che svanirà nel corso di qualche giorno una volta che si smetterà di usare il prodotto. Questo è certamente un modo più sicuro di avere un colorito bronzeo durante l'inverno rispetto all'uso dei lettini solari (che in alcuni paesi sono addirittura vietati, perché aumentano il rischio di sviluppare un tumore).

ANCHE L'OCCHIO VUOLE LA SUA PROTEZIONE

I raggi ultravioletti possono danneggiare anche l'occhio, per cui in spiaggia è meglio indossare sempre gli occhiali da sole: sabbia e mare, l'abbiamo visto, riflettono i raggi solari e ci rendono più esposti.

Questo vale anche quando è nuvoloso. Che effetto hanno gli UVA e UVB sull'occhio? Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, le patologie che possono essere causate dall'esposizione al sole sono *fotocheratiti* e *fotocongiuntiviti* (infiammazioni della cornea e della congiuntiva), *pterigi* (crescita anomala della congiuntiva sulla cornea), *cataratte* (opacizzazione del cristallino) e cancro all'occhio.

L'OZONO, NEMICO DEI RAGGI ULTRAVIOLETTI

L'atmosfera della Terra filtra naturalmente gran parte dei raggi ultravioletti: gli UVC non riescono a passare, gli UVB vengono assorbiti al 90 per cento, mentre gli UVA arrivano fino alla superficie.

Ma cosa li blocca? Il principale responsabile è l'ozono, una molecola formata da tre atomi di ossigeno (O_3), che circonda il nostro pianeta a un'altitudine tra i 20 e i 40 chilometri. I raggi ultravioletti più forti (UVC) sono in grado di spezzare il legame della forma più comune di ossigeno (O_2), lasciando i due atomi liberi di unirsi ad altrettante molecole di O_2 per formare l'ozono. L'O_3 è molto instabile e, assorbendo gli UVB, si rompe di nuovo, liberando un atomo di ossigeno pronto a legarsi di nuovo a un O_2 per ricominciare il ciclo. Alcuni composti formati da cloro, fluoro e carbonio (chiamati a tal proposito *clorofluorocarburi*, CFC, o *idroclorofluorocarburi*, HCFC) si inseriscono in questo ciclo reagendo con l'ozono e diminuendone la concentrazione in atmosfera. Questo fenomeno è conosciuto come *buco dell'ozono* e si tratta di un pericoloso assottigliamento dello strato di ozono, soprattutto ai poli, perché meno O_3 significa, infatti, più raggi ultravioletti sulla Terra. Per questo, nel 1987, con il protocollo di Montréal si è deciso di bandire l'uso di questi gas contenuti nelle bombolette spray e nei frigoriferi e così facendo, il buco si sta pian piano richiudendo.

DI COSA SONO FATTI I COSTUMI DA BAGNO?

All'inizio del Novecento i costumi da bagno erano semplici vestiti di lana e cotone, ma con il passare dei decenni i tessuti di cui sono fatti sono diventati sempre più tecnologici. Un boxer e un bikini, a prescindere dalle forme e dalle mode, devono infatti avere caratteristiche comuni: asciugarsi facilmente, adattarsi alle forme del corpo e resistere a sole e acqua.

Le fibre sintetiche si sono rivelate la soluzione migliore, venendo impiegate da sole o in combinazione per prendere il meglio le une dalle altre. Uno dei tessuti più usati è il *nylon*, una molecola poliammidica (formata da gruppi CO-NH, che contengono carbonio, ossigeno, azoto e idrogeno) e sintetizzata per la prima volta nel 1935. Questo materiale plastico che avrebbe dovuto sostituire la seta è leggero, resistente e assorbe poca acqua, ma può deteriorarsi se esposto al sole.

Una fibra con una storia di successo per i costumi da bagno è l'*elastam*, ma potete chiamarlo anche *spandex*, se amate i supereroi, o ancora con uno dei suoi nomi commerciali, *Lycra*. Si tratta di un tessuto composto da due polimeri plastici (poliuretano e poliurea), che gli conferiscono un'eccezionale elasticità, e fu studiato tra gli anni trenta e i cinquanta del secolo scorso per sostituire la gomma. La sua debolezza è nella durata.

Un ultimo tessuto molto usato per i costumi è il gruppo dei *poliesteri*, altro tipo di polimeri plastici che sono meno leggeri e resistenti del nylon, meno elastici e confortevoli dell'elastam, ma che hanno il pregio di durare anni e non perdere il colore.

Il mondo della tecnologia dei costumi, però, ha fatto grandi passi avanti grazie alle gare agonistiche. Chi non ha mai sentito parlare dei supercostumi da record? Fino al 2009, infatti, era in corso una gara per trovare le migliori fibre adatte ai nuotatori professionisti. Nel giro di qualche anno, a sfrecciare nelle corsie delle piscine non si vedevano più i costumi a slip, ma vere e proprie tute ipertecnologiche. La conseguenza? Record stracciati a ripetizione. A causa dei centotrenta primati battuti tra il 2008 e il 2009, la Federazione Internazionale del Nuoto (FINA) ha deciso di bandire queste tute dalle gare agonistiche a partire dal 2010. Ora i nuotatori possono indossare esclusivamente costumi che coprano al massimo da sotto l'ombelico (per gli uomini) o la spalla (per le donne) a sopra il ginocchio, non siano personalizzati e abbiano caratteristiche che rispecchiano i criteri ben definiti dalla FINA.

Come erano fatte queste tute prodigiose? Il principio è molto semplice: devono donare una bassa resistenza all'acqua e aumentare la

galleggiabilità. Per esempio, il celebre costume Lzr Racer della Speedo, indossato per la prima volta nel 2008 dallo statunitense Michael Phelps, era formato da fibre intrecciate di nylon-elastam e poliuretano, nonché rivestito di nanoparticelle idrorepellenti, perché l'acqua riuscisse a scorrere più facilmente sul tessuto piuttosto che sul corpo nudo. Ma c'è di più: grazie alla costruzione in un unico pezzo di tessuto, si potevano evitare cuciture e comprimere i muscoli, così da rendere le forme del corpo più idrodinamiche. Infine, questo costume era in grado di intrappolare al suo interno delle bolle d'aria che conferivano al nuotatore una maggiore capacità di galleggiamento. Non meraviglia che Speedo si vantasse di aver contribuito a far vincere il 94 per cento delle medaglie d'oro nelle gare in cui partecipava la tuta Lzr Racer. Ora la tecnologia dovrà fare di nuovo meraviglie.

AL MARE SI RESPIRA IODIO?

Lo iodio è un elemento essenziale per il nostro corpo e, in particolare, è importante per il corretto funzionamento della tiroide, una ghiandola posta alla base del collo che secerne due ormoni nel flusso sanguigno: la *tiroxina* e la *triiodotironina*, molecole formate rispettivamente da quattro e tre atomi di iodio (simbolo chimico I). Senza questo elemento, la tiroide non può fabbricarli.

Gli ormoni tiroidei influenzano in molti modi la nostra vita: modificano il metabolismo delle cellule (per esempio, la produzione di energia e la sintesi delle proteine), regolano temperatura corporea e battito cardiaco, e favoriscono la crescita e lo sviluppo del sistema nervoso.

Insomma, abbiamo bisogno di iodio per funzionare correttamente. È credenza popolare che stando al mare si respiri in abbondanza questo elemento, ecco perché si tratta di una mezza verità.

C'È IODIO NELL'ARIA

Lo iodio è un elemento solubile: le rocce che ne contengono per azione della pioggia lo rilasciano e lo fanno arrivare ai fiumi e infine in mare. Diversamente dal cloruro di sodio (vedi pagina 66), lo iodio evapora dalla superficie degli oceani, torna in atmosfera e ricade sulla terra sotto forma di pioggia. Grazie all'evaporazione, quindi, l'aria e la brezza marine sono più cariche di iodio rispetto a quanto lo siano nell'entroterra.

Parte di questi atomi dispersi è assorbita dal nostro organismo grazie alla respirazione, ma si tratta solo di una piccola percentuale. Il principale contributo al nostro bisogno quotidiano di iodio viene dall'alimentazione.

MANGIARE IODATO

Ogni giorno, un adulto o un adolescente dovrebbe assumere circa 150 microgrammi (milionesimi di grammo) di iodio, contro i 220 di una donna incinta e i 290 di una che allatta, e la fonte principale di questo elemento è costituita da alcuni alimenti. Il suo contenuto nei vegetali, per esempio, è molto variabile e dipende dalla concentrazione di iodio nel suolo in cui sono stati coltivati.

I cibi più ricchi di iodio sono pesci di mare, alghe e crostacei, ma anche uova, latte e carne ne contengono quantità importanti. L'assunzione di iodio tramite gli alimenti, però, non riesce a garantire la quantità giornaliera necessaria al nostro corpo, perciò è utile integrarla utilizzando il sale iodato.

Quello iodato è semplice sale da cucina (NaCl), arricchito di iodio sotto forma di ioduro o iodato di potassio: in ogni chilogrammo di sale iodato ci sono circa 30 milligrammi di iodio. Questo, però, non significa che si debba abbondare: meglio usare poco sale, basta che sia iodato.

IODIO, COME MI MANCHI

Senza lo iodio, la tiroide non può funzionare correttamente e infatti se questo non viene assunto adeguatamente, la ghiandola tiroidea aumenta di volume nel tentativo di catturarne dal sangue maggiori quantità.

Questa patologia si chiama *gozzo* ed è particolarmente comune in popolazioni che non ricevono abbastanza iodio con l'alimentazione (basti pensare alle regioni montuose, dove è più difficile mangiare pesce).

Dallo iodio dipende anche la nostra intelligenza. Un apporto limitato di iodio in alcune fasi critiche della vita, infatti, può alterare lo sviluppo del sistema nervoso centrale e periferico, causando un ritardo mentale. L'assunzione di iodio, è particolarmente importante durante la gravidanza e l'allattamento. Madri che con

la propria alimentazione non ne ingeriscono a sufficienza possono partorire figli ipotiroidei che andranno incontro a deficit intellettivi; lo stesso discorso vale per i bambini, che devono mangiare cibi ricchi di iodio.

QUANDO PUNGE UNA MEDUSA

Sono animali strani, non c'è che dire: pelle trasparente e non hanno scheletro né cervello. La prima cosa che viene in mente quando ci si imbatte in una medusa arrivata fin sulla riva è saggiarne la consistenza, cosa che tuttavia può non essere una buona idea anche se la medusa è morta. Non appena si sfiorano i suoi tentacoli, infatti, potrebbero partire migliaia di piccoli arpioni che iniettano veleno nella nostra pelle. Le conseguenze? Tutto dipende dal tipo di medusa in cui ci si imbatte: alcune sono innocue, altre possono essere letali. Per fortuna, le specie del Mediterraneo non sono così pericolose, ma in ogni caso provocano forte dolore e irritazioni cutanee. Che cosa fare quando si è punti? Basta urinare sopra la ferita?

NO, L'URINA NO

Succedeva in una puntata della serie tv *Friends*, del 1997. Durante una gita in spiaggia Monica venne punta da una medusa e Joey, ricordando un documentario che aveva visto su Discovery Channel, propose un facile rimedio: il dolore sarebbe sparito facendoci pipì sopra, grazie all'ammoniaca contenuta nell'urina e cosa incredibile, funzionava. In realtà, questa credenza popolare non ha basi scientifiche, anzi, e l'imbarazzante procedura potrebbe addirittura peggiorare la situazione.

Al contatto con il veleno, la pelle subisce un'infiammazione con arrossamento, gonfiore, vescicole e bolle: la zona brucia, prude e fa male. Le tossine delle meduse, infatti, contengono una

miscela di proteine che dà effetti locali ma potenzialmente anche cardiocircolatori e allergici, se entrano nel circolo sanguigno.

Ecco come agire al momento. Anzitutto – nel caso in cui non ci sia pericolo di vita – si devono rimuovere eventuali tentacoli rimasti attaccati alla pelle. Ogni tentacolo, infatti, può contenere migliaia o perfino miliardi di piccole cellule chiamate *nematocisti*, organelli formati da una capsula dotata di un peduncolo sensoriale (*cnidociglio*) e all'interno della quale sono presenti il liquido urticante e un filamento attorcigliato. Quando lo cnidociglio viene toccato, la pressione della capsula aumenta e il filamento scatta come una molla verso l'esterno, penetrando nella pelle e infondendovi il veleno. È una delle reazioni meccaniche più veloci del mondo animale. Questo meccanismo, inoltre, non coinvolge il sistema nervoso delle meduse, per cui un tentacolo staccato dal corpo o un animale morto possono essere altrettanto pericolosi; ecco perché si devono rimuovere con accortezza: potrebbero ancora sparare. La soluzione più semplice è sciacquare la parte colpita con acqua di mare e togliere i tentacoli con una pinzetta, oppure raschiandoli delicatamente via con una tesserina di plastica. È importante che sia usata dell'acqua di mare perché l'acqua salata disattiva le nematocisti, mentre quella dolce le fa sparare.

Il rimedio ideale per ridurre il dolore, evitare che si diffonda altro veleno e ridurre reazioni locali dipende da specie a specie, visto che esistono tossine diverse. Eppure, secondo una rassegna pubblicata nel 2013 da ricercatori italiani e statunitensi su "Marine Drugs", in generale la soluzione migliore è usare analgesici (orali o topici), bicarbonato, acqua calda, ghiaccio o – per alcuni tipi di meduse – il comune aceto. Nel caso in cui la medusa non sia tropicale (e quindi non mortale) la preoccupazione principale è il dolore: dopo aver risciacquato la parte con acqua di mare, bisogna applicare impacchi di ghiaccio che rallenta la diffusione del veleno e funziona da antidolorifico; se si tratta di una caravella portoghese (*Physalia physalis*), invece, meglio acqua calda a 40 °C per venti minuti.

LA MEDUSA È SOLO UNA FASE

Sono un ammasso di gelatina che ci affascina e spaventa. Le meduse sono animali invertebrati e carnivori molto antichi, privi di uno scheletro e di un sistema nervoso complesso. Esistono da almeno cinquecento milioni di anni e fanno parte di un gruppo chiamato *cnidari*, composto da circa diecimila specie molto diverse tra loro, tra cui coralli e anemoni di mare, ma solo cento di queste sono pericolose per l'uomo. Quella che comunemente chiamiamo *medusa*, infatti, potrebbe appartenere a classi molto distanti tra loro: esistono le cubomeduse, le scifomeduse, le stauromeduse e via dicendo; in totale, si contano migliaia e migliaia di specie. In generale, una delle stranezze più grandi delle meduse è che la loro forma è solo una fase all'interno di un ciclo vitale complesso.

Partiamo prima dalla loro anatomia. Il corpo ha la forma di un ombrello, con un diametro che può essere di pochi millimetri fino a un paio di metri e che racchiude la cavità gastrovascolare, dove vengono digerite le prede (plancton, piccoli pesci, uova e altre meduse) e assorbiti gli elementi nutrienti. Al di sotto, si trova un orifizio che funziona sia da bocca sia da ano e attorno alla parte inferiore dell'ombrello vi è un numero di tentacoli che varia da specie a specie, con lunghezza compresa tra pochi millimetri e diverse decine di metri.

Le meduse sono un classico esempio di quella che in biologia viene chiamata *simmetria radiale*: tutte le parti sono disposte a raggiera rispetto a un asse centrale. Nel caso degli esseri umani, invece, si parla di *simmetria bilaterale* (in sostanza il nostro asse di simmetria ci divide a metà). Quando non sono trasparenti, il loro colore può essere biancastro, giallognolo, violetto o bluastro.

Vederle muoversi in mare può essere ipnotico. Grazie alla contrazione e all'espansione dell'ombrello, le meduse spostano l'acqua sotto di loro, fluttuando delicatamente. Il loro sistema nervoso è molto semplice ed è formato da una rete di neuroni connessi e uniformemente distribuiti in tutto il corpo, senza cervello nè spina dorsale. Le meduse possono percepire gli stimoli, rispondendo al contatto fisico, ma anche rilevare cibo o altre sostanze, eppure la loro reazione spesso è stereotipata: muoversi.

Nonostante siano organismi alquanto semplici, il loro ciclo vitale è molto curioso. Quella che normalmente vediamo in mare, infatti, è solo una delle due principali forme con cui si presentano

le meduse (l'altra sono i polipi). Questi animali, infatti, possono riprodursi sia grazie all'unione del patrimonio genetico di due individui (riproduzione sessuata), sia senza l'intervento esterno (riproduzione asessuata).

Partiamo dalla riproduzione sessuata, semplificando al massimo le varie differenze tra le classi: la medusa maschio sparge in acqua il proprio seme che verrà poi raccolto dalla femmina, così facendo le uova custodite nel suo corpo verranno fecondate, dando il via allo sviluppo di una larva (*planula*). Non appena sarà matura, la larva verrà lasciata libera di scendere verso il fondo, al quale si attaccherà continuando a crescere e diventando un *polipo*, un cilindro con tentacoli e bocca sulla parte superiore (praticamente una medusa rovesciata, da non confondersi con i polpi). In questo momento avviene la riproduzione asessuata: il polipo può così dare vita ad altri polipi per gemmazione. Nelle condizioni ottimali, inoltre, si trasforma e genera una serie di piccole meduse (*efire*) che potranno nuotare in acqua e crescere fino a diventare le forme adulte che conosciamo. E il ciclo ricomincia.

LE MEDUSE NEL MONDO

Esistono migliaia di specie diverse di meduse e ogni anno gli scienziati ne scoprono di nuove. Facciamo un breve giro del pianeta per vedere quali sono le più conosciute. Si parte con una delle più comuni, l'*Aurelia aurita* o medusa quadrifoglio: con un ombrello perfettamente circolare tra i 20 e i 40 centimetri di diametro, di un bianco trasparente che permette di vedere quattro strutture semicircolari interne (da cui il nome), la si può trovare nell'oceano Atlantico, Pacifico e Indiano, alcune volte anche nel Mediterraneo e non è velenosa per l'uomo, dal momento che le sue nematocisti non riescono a penetrare la nostra pelle.

La più pericolosa al mondo, invece, la troviamo principalmente tra il Sudest asiatico e l'Australia del Nord: si chiama *Chironex fleckeri* e somiglia a un cubo con il lato di 25 centimetri e tentacoli che possono arrivare a 3 metri di lunghezza. Veloce nuotatrice, ha uno dei sistemi nervosi più complessi tra le meduse e possiede addirittura occhi e retina. Le sue tossine possono essere letali, quindi è meglio starle ancora di più alla larga.

Un’altra medusa velenosa, presente invece di frequente nei nostri mari (oltre che nell’Atlantico orientale e nel Mare del Nord), è la *Pelagia noctiluca* o medusa luminosa. Possiede un ombrello traslucido marrone-rosato o rosa-violetto di circa 10 centimetri di diametro e ha tentacoli che possono arrivare fino a 2 metri di lunghezza e che sono molto urticanti. È la medusa più pericolosa del Mediterraneo, insieme alla *Chrysaora hysoscella* e alla *Rhopilema nomadica*, ma non è mortale e si chiama così perché si illumina al buio.

Particolarmente pericolosa e conosciuta è la caravella portoghese (*Physalia physalis*). In realtà non si tratta di una medusa, ma di una colonia di quattro diversi tipi di polipi che si sostengono a vicenda e il suo nome deriva dalla forma che ricorda quella di una nave. La caravella ha simmetria bilaterale ed è formata da una sacca di massimo 15 centimetri, che galleggia in superficie, e da numerosi tentacoli sottomarini che possono arrivare fino a 50 metri. In caso di attacco, la sacca si sgonfia rapidamente per permettere l’immersione. Questo strano animale è traslucido, con sfumature blu, viola, rosa e lilla. È diffusa nei mari tropicali e subtropicali e le sue punture, anche se in casi rari, possono portare alla morte.

TUTTI I DANNI DEL MERCURIO

Una delle soddisfazioni delle buone forchette, quando sono al mare, è mangiare quantità industriali di pesce. Certo, il pesce fa bene, ma consumarne troppo può causare qualche problema. Oltre ad altri metalli pesanti come arsenico, cadmio e piombo, il principale responsabile contro cui si scagliano i medici è quell’elemento che gli antichi greci chiamavano *argento liquido*: il mercurio. Dopo la rottura di un termometro in molti avranno giocato con una pallina di mercurio, peccato però che, nonostante l’apparenza innocua, questo sia molto tossico e debba essere maneggiato con cura (motivo per cui è meglio evitare di toccarlo a mani nude). Il mercurio, simbolo chimico Hg, è un elemento naturalmente presente nella crosta terrestre, ma la sua concentrazione nell’atmosfera e nei mari è aumentata a causa delle attività umane. La combustione di carbone, alcuni processi chimici e industriali come la raffinazione del petrolio e l’estrazione dalle miniere sono tutte azioni che hanno incrementato la sua presenza sul pianeta e il mercurio prodotto dagli

esseri umani torna, così, sulle nostre tavole insieme al pesce. Dopo essere stato espulso nell'atmosfera o nei fiumi, il mercurio ricade negli oceani e si concentra in mare, dove è assorbito da batteri, alghe, plancton e pesci come *metilmercurio* (CH_3Hg^+), un composto organico formato da un gruppo metile (CH_3^-) e uno ione di mercurio (Hg^+). Questa molecola ha tempi di smaltimento abbastanza lunghi ed è quindi capace di accumularsi in organismi animali e vegetali. È qui che il mercurio aumenta lentamente la propria concentrazione. Mettiamo il caso che un piccolo pesce si nutra prevalentemente di alghe che contengono questo elemento e che a sua volta sarà mangiato da un pesce più grande, che a sua volta diventerà il pasto, insieme ad altri suoi simili, di un animale ancora più grande e via dicendo: pasto dopo pasto, predatore dopo predatore, la concentrazione di mercurio aumenterà risalendo la catena alimentare, secondo un processo che è chiamato *biomagnificazione*. Ecco spiegato il motivo per cui è proprio nei predatori che troviamo questo elemento tossico in maggior misura. I pesci con le maggiori quantità di mercurio, infatti, sono squali, pesci spada e sgombri reali, seguiti dai valori moderati del tonno e quelli molto bassi di salmone e gamberetti. Nell'intossicazione acuta da mercurio i sintomi prevalenti riguardano disturbi sensoriali (vista, udito, tatto) e difficoltà a coordinare i movimenti e articolare la parola, ma oltre che al cervello, si possono riscontrare danni anche ai reni e ai polmoni. Se una persona normale deve fare attenzione a non mangiare troppo pesce con grandi concentrazioni di mercurio, alcune categorie devono decisamente evitarne il consumo, ovvero le donne incinte o che stanno allattando e i bambini. Sì, perché una delle conseguenze principali del mercurio presente nel circolo sanguigno è l'alterazione nello sviluppo del sistema nervoso, con un eventuale ritardo mentale.

L'inquinamento da mercurio è diventato un problema serio negli scorsi decenni: il picco delle emissioni in atmosfera si è avuto negli anni settanta e secondo il Global Mercury Assessment 2013 nel 2010 abbiamo diffuso sul pianeta circa 1960 tonnellate di questo elemento. Il primato spetta all'Asia, responsabile del 50 per cento delle emissioni, il che ha reso necessario l'intervento della comunità internazionale che ha portato alla firma della Convenzione di Minamata – in ricordo della cittadina giapponese dove, tra il 1932 e il 1968, un'industria chimica scaricò in mare grandi quantità di metilmercurio, causando migliaia di morti. Questo accordo prevede diverse misure volte a limitare l'inquinamento da mercurio, tra le quali troviamo l'abolizione dei termometri dal 2020, la dismissione delle miniere entro quindici anni dalla firma e la limitazione nell'utilizzo di mercurio in alcuni impianti chimici tra il 2018 e il 2025. Alla firma hanno partecipato novantaquattro paesi, tra cui Italia, Stati Uniti e Cina, ma ci sono grandi assenti come Russia, India e Thailandia.

UNA CONCHIGLIA DURA COME IL MARMO

Alcune spiagge ne sono completamente ricoperte (vedi pagina 153), in altre un occhio allenato riesce a scovarne di diverse forme e tipologie: stiamo parlando delle conchiglie, quel duro rivestimento che protegge alcuni molluschi marini. Quando le troviamo in spiaggia, magari spezzate e scolorite, ma libere dal loro ospite, ci rendiamo conto di quanto siano resistenti. E che dire poi della loro forma, così regolare?

Sembra quasi fabbricata con criteri matematici, quando in realtà gli architetti responsabili sono animali molto ingegnosi.

I COSTRUTTORI DI CONCHIGLIE

Il materiale di cui è composta una conchiglia è il carbonato di calcio ($CaCO_3$), un sale derivato dall'acido carbonico capace di sciogliersi in acqua, che è molto comune sul nostro pianeta e si trova in rocce come marmo, gesso e travertino.

Quando parliamo di acqua *dura*, ci riferiamo proprio all'alta concentrazione di carbonato di calcio, che evaporando lascia dietro di sé incrostazioni di calcare. Ebbene, alcuni organismi marini sono in grado di produrre naturalmente questo durissimo materiale, creando le tipiche forme a spirale dei *gasteropodi* (come murici e chiocciole) e quelle bivalve dei *lamellibranchi* (come vongole e ostriche).

I molluschi, infatti, come tutti gli invertebrati non hanno alcuna struttura di supporto data da uno scheletro, ma nel corso dell'evoluzione alcuni di loro hanno sviluppato la capacità di costruirsene uno esterno, un *esoscheletro*.

Altri come i cefalopodi, di cui fanno parte polpi e seppie, hanno invece un piccolo sostegno interno dato dalla pinna, in ricordo di un antico esoscheletro.

Lo scudo che chiamiamo *conchiglia* è formato al 95 per cento da carbonato di calcio, mentre il restante 5 per cento è un insieme di molecole organiche detto *conchiolina*. Sia questa sostanza sia il calcio che serve a produrre il carbonato sono secreti dal *mantello*, la porzione del dorso dell'animale su cui viene effettivamente costruita la conchiglia.

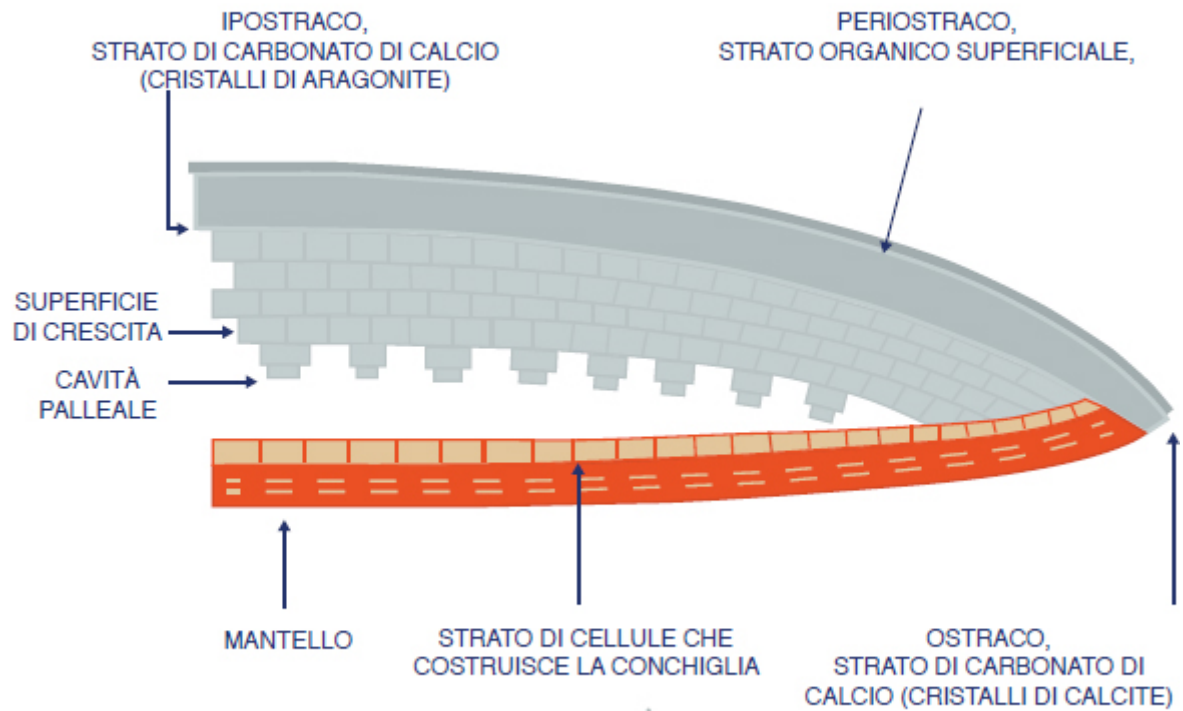
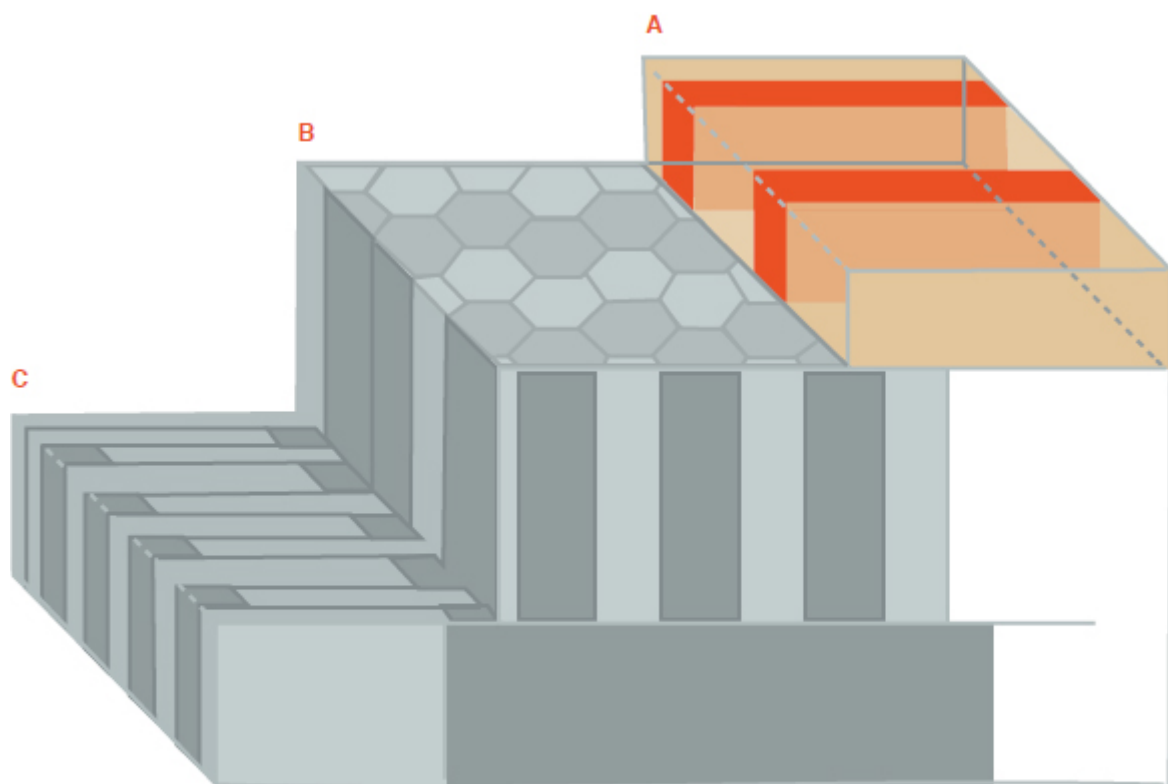
L'ARCHITETTURA DI UNA CONCHIGLIA

Il guscio di un mollusco può essere diviso in diversi strati (vedi figura 2). Quello più esterno si chiama *periostraco*, è un sottile rivestimento organico di conchiolina piuttosto elastico e capace di deflettere i colpi, che è facile individuare nelle conchiglie arrivate da poco sulla spiaggia: se sono parzialmente grattate sulla superficie, si vedrà una differenza di colore con la parte calcarea più profonda. Subito sotto si trova l'*ostraco*, formato da prismi di calcite (una delle forme di carbonato di calcio) trasversali alla superficie, con inserti di conchiolina.

Ancora più in profondità c'è l'*ipostraco*, uno strato composto da un'altra forma di carbonato, l'aragonite, disposta in lamelle parallele al guscio e legate insieme sempre dalla conchiolina, e che è quella che in alcuni molluschi prende il nome di *madreperla*.

Sono questi ultimi due livelli, disposti uno sopra l'altro, a conferire alla conchiglia durezza e resistenza.

Per formare questi strati, il mollusco ha bisogno di un complesso meccanismo di ingegneria cellulare. Anzitutto è indispensabile uno spazio di lavoro chiuso, dove poter concentrare gli elementi necessari a costruire la conchiglia e che viene ottenuto grazie al periostraco che sigilla il mantello dall'ambiente circostante creando la *cavità palleale*. Sia per lo strato di aragonite sia per quello di calcite, c'è bisogno di un'impalcatura su cui costruire la struttura calcarea. Il meccanismo è simile a quello del cemento armato, per il quale si usa uno scheletro di acciaio che viene ricoperto di calcestruzzo, in questo caso, però, l'armatura è data da conchiolina prodotta dal mantello, mentre il rivestimento è il carbonato di calcio.

A)

B)

A. PERIOSTRACO. STRATO ORGANICO
B. OSTRACO, FORMATO DI PRISMI DI CALCITE
C. IPOSTRACO, FORMATO DA LAMELLE DI ARAGONITE

I molluschi lo recuperano dall'ambiente circostante grazie a respirazione e alimentazione, lo immettono nel sistema circolatorio e infine lo raccolgono nel mantello, pronto ad essere rilasciato per la costruzione della conchiglia. Con l'aumento della sua concentrazione nella cavità palleale, si favorisce il processo chiamato *cristallizzazione*: il $CaCO_3$ passa spontaneamente da uno stato liquido a uno solido, mentre le sue molecole si dispongono in modo ordinato partendo da un nucleo iniziale. Pensate alla nascita di un fiocco di neve che si sviluppa dal suo centro, in questo caso, invece, la cristallizzazione del sale è guidata dalla matrice di conchiolina.

QUANDO UNA CONCHIGLIA SI ROMPE

I vari strati del guscio non crescono da ogni punto del mantello e se quello madreperlaceo è prodotto da tutta la sua superficie, lo strato dei prismi e quello superficiale, invece, sono costruiti solo a partire dai suoi bordi.

Questo ha una conseguenza: se il margine di una conchiglia si rompe, l'animale può ripararlo facilmente, mentre se il danno riguarda una parte distante dalle estremità, la ricostruzione non sarà possibile. Con la crescita del mollusco, la conchiglia continuerà a estendersi dai lati sopra e davanti alla porzione precedente, formando linee di accrescimento simili agli anelli degli alberi.

Conoscendo questo trucco è facile indovinare quale parte di una conchiglia è più antica: quella più distante dai margini e, in particolare, la punta in quelle con le forme a chiocciola.

COME SI FORMA UNA PERLA

La storia delle perle è molto simile a quella delle conchiglie, poiché sono fatte dello stesso materiale, il carbonato di calcio, ed entrambe sono create strato dopo strato dal mantello di alcuni molluschi. Ma perché le ostriche creano delle piccole sfere invece di continuare a rinforzare la propria conchiglia? Questo processo avviene quando un microscopico frammento di materia come un

parassita o un pezzo di conchiglia riesce a entrare nella cavità palleale del mollusco. Per difendersi dall'irritazione provocata da questo intruso, il mantello lo ricopre con strati concentrici di madreperla e il risultato, dopo anni di lavoro, sarà la perla come la conosciamo. Si tratta di un oggetto molto raro in natura, ancora di più se parliamo di una sfera perfetta ed è per questo che abbiamo iniziato a coltivarle, inserendo nell'ostrica un corpo estraneo su cui viene costruita una perla artificiale.

CONCHIGLIE E FRATTALI

Che cos'è un frattale? Secondo il matematico Benoît Mandelbrot che ne ha coniato il termine, si tratta di un oggetto geometrico che si ripete nella sua forma a scale diverse.

Questo significa che guardando sia da vicino sia da lontano la stessa figura, non notiamo differenze. Ora prendiamo la conchiglia di un mollusco come il Nautilus, un cefalopode con un guscio a chiocciola di circa 20 centimetri di diametro (vedi figura 3). La sezione della sua conchiglia si può approssimare a una spirale logaritmica: a partire da un punto centrale, il raggio della spirale cresce secondo una progressione geometrica (il rapporto tra ogni punto precedente e successivo sulla spirale è sempre costante) e se la guardiamo da lontano o da vicino, ci renderemo conto che la sua forma non cambia. È uno dei tanti frattali che si trovano in natura. Altri esempi? La forma dei broccoli romaneschi, delle galassie o dei cicloni.

PERCHÉ NELLE CONCHIGLIE SI SENTE IL MARE

Provate a prendere una conchiglia a spirale abbastanza grande e a mettere l'apertura vicino all'orecchio: è incredibile, dentro si sente il mare. È una delle sorprese che stupiscono i bambini. Possibile che una conchiglia ricordi il mare? No, è una semplice questione di fisica. Quello che si ascolta è piuttosto un rumore ambientale, poiché infatti tutte le onde sonore che si diffondono nell'aria (troppo basse da percepire o a cui non prestiamo abbastanza attenzione) entrano nella conchiglia e alcune frequenze ne sono amplificate, anche quando non siamo vicini al mare. Pensate alla cassa di risonanza di una chitarra: dietro alle corde c'è un ampio spazio vuoto circondato dal legno, la cui funzione è proprio quella di raccogliere le onde sonore e amplificarle. Le circonvoluzioni della conchiglia fanno lo stesso. Se non siete convinti, fate una prova e raccogliete le mani a coppa e mettetele vicino all'orecchio: non ci sentite il mare?

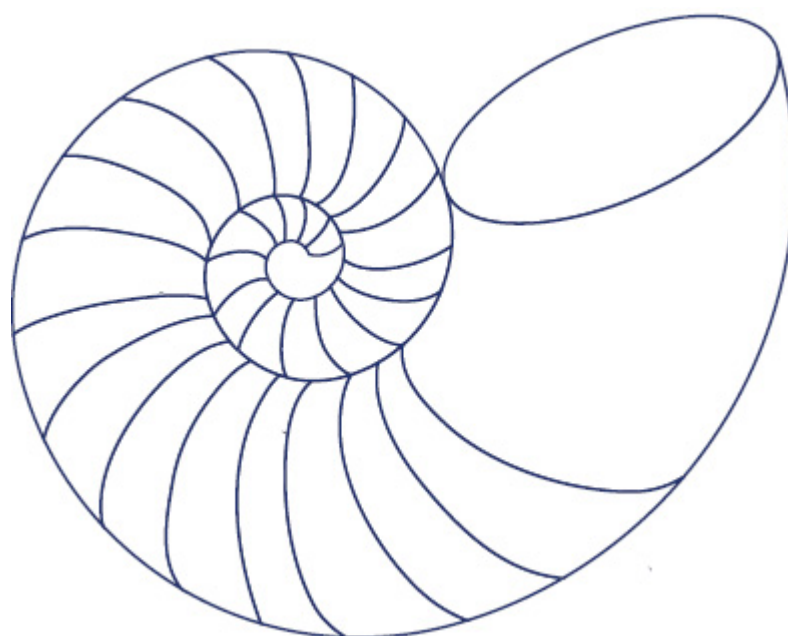
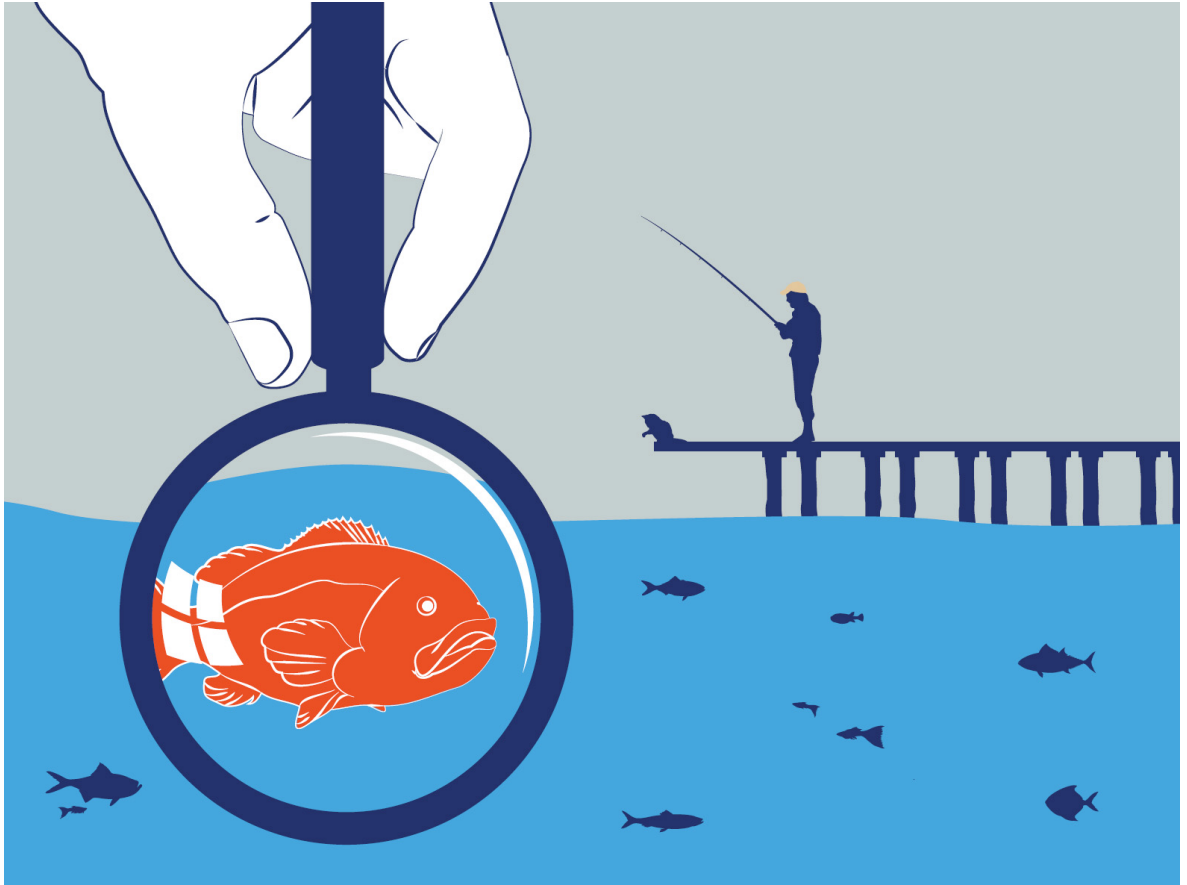



FIGURA 3 - LA CONCHIGLIA A SPIRALE DEL NAUTILUS

PERCHÉ NON POSSIAMO BERE L'ACQUA DI MARE

Una tempesta, la barca che si rovescia e qualche malcapitato che si ritrova aggrappato a un asse di legno, in mezzo al mare. Una trama che avrete letto nei libri e visto al cinema molte volte. Spesso, inoltre, alcuni personaggi si ostinano a bere l'acqua di mare, nonostante il pessimo sapore, mettendo a rischio la propria vita. Perché il nostro organismo reagisce così male all'acqua salata?

UNA QUESTIONE DI EQUILIBRIO

In un normale regime alimentare assumiamo senza problemi il cloruro di sodio e, anzi, i suoi due componenti (Na e Cl) sono fondamentali per il corpo, eppure, quando si beve acqua di mare, le conseguenze possono essere fatali. In questo caso, il problema dipende dalla concentrazione: l'acqua marina contiene sale al 3,5 per cento (vedi pagina 67), mentre il nostro organismo tende a mantenere la salinità del sangue – il mezzo che permette la circolazione dei nutrienti – intorno allo 0,9 per cento. Questo equilibrio idrosalino – che riguarda anche elementi come potassio e calcio – deve essere garantito per il corretto funzionamento degli organi. Un semplice modo per smaltire il sale in eccesso è espellerlo con l'urina prodotta dai reni, ma se questo è troppo, il meccanismo si altera.

Tutte le nostre cellule sono rivestite da una membrana chiamata *semipermeabile*, che funziona come un filtro ed è in grado di lasciar passare alcune molecole e trattenerne altre (vedi figura 1). Il cloruro di sodio, per esempio, non può attraversarla, a

differenza dell’acqua che invece circola liberamente. Questa particolare caratteristica si riflette nella diffusione degli elementi fuori e dentro la cellula, perché in generale due ambienti in comunicazione tendono all’equilibrio: il rapporto tra acqua e sali intra- ed extracellulari si modifica fino a raggiungere la stessa concentrazione. Mentre i sali sono bloccati all’interno della cellula, l’acqua è libera di muoversi dentro e fuori. Facciamo un esempio pratico: se provate a immergere dell’uva passa in un bicchiere d’acqua, l’uvetta si gonfierà di liquido, aumentando in volume. Lo stesso succede nel nostro corpo: quando l’ambiente extracellulare è povero di sale rispetto a quello intracellulare, la cellula assorbe l’acqua fino ad avere la stessa concentrazione; viceversa, se fuori c’è molto sale, la cellula perde acqua e rinsecchisce. Questo principio si chiama *osmosi*.

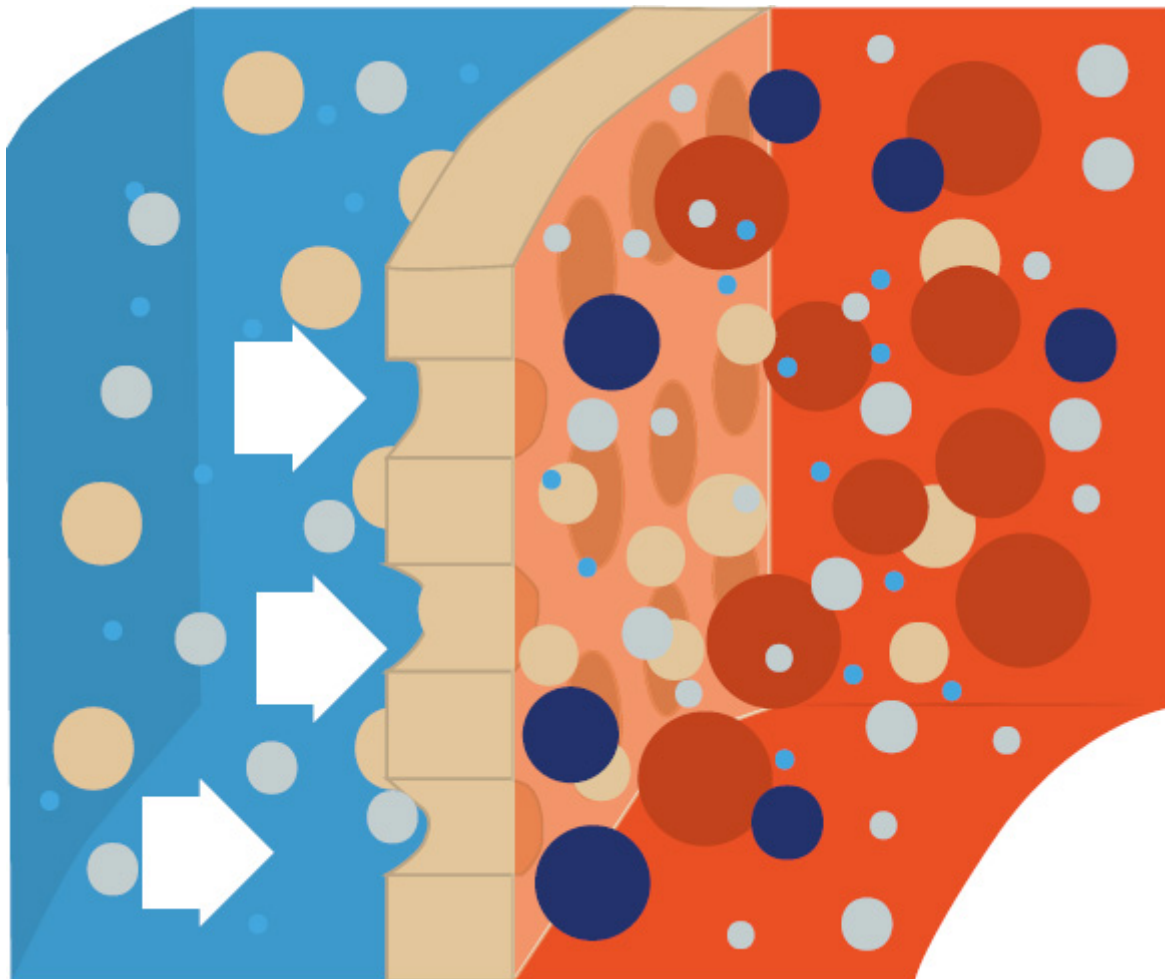



FIGURA 1 - OSMOSI: COME FUNZIONA LA MEMBRANA SEMIPERMEABILE DI UNA CELLULA

Che cosa succede, allora, quando beviamo l’acqua del mare? Nel nostro sangue si concentra molto sale che richiama verso di sé l’acqua contenuta nelle cellule e i reni funzionano a pieno regime, per filtrare ed espellere il sale in eccesso. Peccato che la nostra urina, al massimo della sua salinità, non raggiunga mai concentrazioni pari a quella dell’acqua marina e per depurarci del sale e tornare in equilibrio, quindi, siamo costretti a “sprecare” nell’urina più acqua di quanta ne abbiamo ingerita. Per questo si va incontro alla *disidratazione*: il sangue diventa meno liquido, la bocca è asciutta e compaiono crampi e sete. Per compensare questo meccanismo e garantire che tutti gli organi del corpo ricevano ossigeno, il battito cardiaco aumenta, mentre i vasi sanguigni si restringono. Se non si assumono nuovi liquidi per reidratarsi, e anzi si continua a bere acqua di mare, il corpo non riesce più a reagire e si va incontro a un blocco renale. Possono comparire nausea, debolezza, delirio e, se la disidratazione continua, si rischiano coma e morte. Ma state tranquilli, una bevuta occasionale durante una nuotata capita e non fa alcun male.

PESCI CHE BEVONO

Anche per gli animali che vivono in acqua esiste il problema dell’equilibrio omeostatico.

Pensate a una cernia, per esempio. La salinità dei liquidi nel suo corpo è inferiore rispetto all’acqua marina che la circonda (*ambiente ipertonico*) e questo significa che per osmosi un pesce marino perde una gran quantità di liquidi ed è costretto a bere molta acqua di mare per reidratarsi, rischiando così, però, di aumentare la concentrazione di sali nel corpo. A eliminarli attivamente ci pensano da un lato le branchie, dall’altro i reni, con piccole quantità di urina dall’alta concentrazione salina.

Al contrario, i tessuti di un pesce d’acqua dolce hanno maggiore salinità rispetto al liquido dell’ambiente che li circonda (*ambiente ipotonico*). Avendo bisogno di trattenere sali, quindi, i pesci di fiume assorbono l’acqua passivamente dalla pelle, ne bevono pochissima e assumono sali grazie a cibo e branchie, mentre i reni producono grandi quantità di urina molto diluita.

E i mammiferi marini, invece? Balene, orche e delfini non sembrano bere regolarmente acqua di mare, ma possono farlo senza star male. Perché? La risposta è nei loro reni, che producono un'urina molto più concentrata della nostra, in modo che questi smaltiscano i sali con maggiore facilità e non vadano incontro a disidratazione.

SUBITO DOPO AVER MANGIATO SI PUÒ FARE IL BAGNO?

È uno degli avvertimenti che i genitori danno ai propri figli in spiaggia: dopo pranzo, si devono aspettare almeno tre ore prima di fare il bagno, altrimenti si rischia di affogare. Si tratta di un falso mito o è davvero così pericoloso?

MUSCOLI, ACQUA E DIGESTIONE

Dati che confermino la saggezza delle mamme non ce ne sono, quella che si applica è la fisiologia umana, sulla quale tra l'altro alcuni scienziati non sono per nulla d'accordo. Si possono individuare due cause per cui il rischio di affogare aumenterebbe: una riguarda i crampi, l'altra la congestione.

Ma partiamo dall'inizio: durante la digestione sangue e ossigeno affluiscono in maggiore misura verso stomaco e intestino, mentre un minore apporto viene fornito al cervello e alle estremità. Se si va a fare il bagno, aumenta la richiesta di energia da parte dei muscoli che devono bruciare ossigeno per funzionare, ma, vista la mancanza di sangue, questi non sono in grado di lavorare al meglio e possiamo essere colti da crampi che limitano la capacità di nuotare.

Un altro discorso riguarda il blocco della digestione. Entrare in acqua dopo essere stati al sole (con le dovute protezioni) può essere traumatico, poiché la temperatura dell'acqua è inferiore a quella corporea e tuffarsi senza prendere abbastanza tempo per abituarsi allo sbalzo termico può fermare il processo digestivo.

Questo blocco porta nausea, abbassamento di pressione, e in certi casi anche svenimento. Per evitare conseguenze spiacevoli – dopo aver mangiato o meno – è meglio immergersi con cautela, bagnando progressivamente gambe, braccia, addome, tronco e testa.

Come dicevamo, gli scienziati non sembrano aver pubblicato studi scientifici chiari sulla questione. Quando parla del rischio di affogare e delle trecentottantottomila persone annegate nel mondo nel 2004, l'Organizzazione Mondiale della Sanità non fa menzione della digestione, concentrando piuttosto l'attenzione sul consumo di alcol, un comportamento molto a rischio, e sulla scarsa preparazione al nuoto. Si deve prestare maggiore cura nei riguardi dei bambini al di sotto dei 5 anni, che hanno la mortalità più alta a livello globale.

Per non rischiare, in ogni caso, meglio fare attenzione ed evitare di fare il bagno dopo aver pranzato. Ma quanto dura la digestione? E quali cibi sono più difficili da digerire?

PASTO MIO, QUANTO CI METTI

La digestione è il processo che consente all'organismo di assorbire i nutrienti di cui ha bisogno. Il nostro apparato digerente parte dalla bocca, passa per esofago e stomaco, e arriva all'intestino; a questi organi si affiancano ghiandole salivari, fegato e pancreas, che contribuiscono con le loro secrezioni a elaborare il cibo che ingeriamo. Carboidrati, lipidi e proteine devono essere scomposti per essere poi assorbiti nel circolo sanguigno.

Questo processo inizia in bocca, dove gli enzimi salivari cominciano a scomporre gli amidi presenti in quello che viene chiamato *bolo*. Nello stomaco, invece, sono divise le proteine, sotto l'azione dei succhi gastrici. Qui si conclude la digestione gastrica, che in media dura tra le due e le quattro ore e dipende dal tipo di cibo ingerito: i carboidrati restano il minor tempo nello stomaco, seguiti dalle proteine e infine dai grassi (vedi tabella 1).

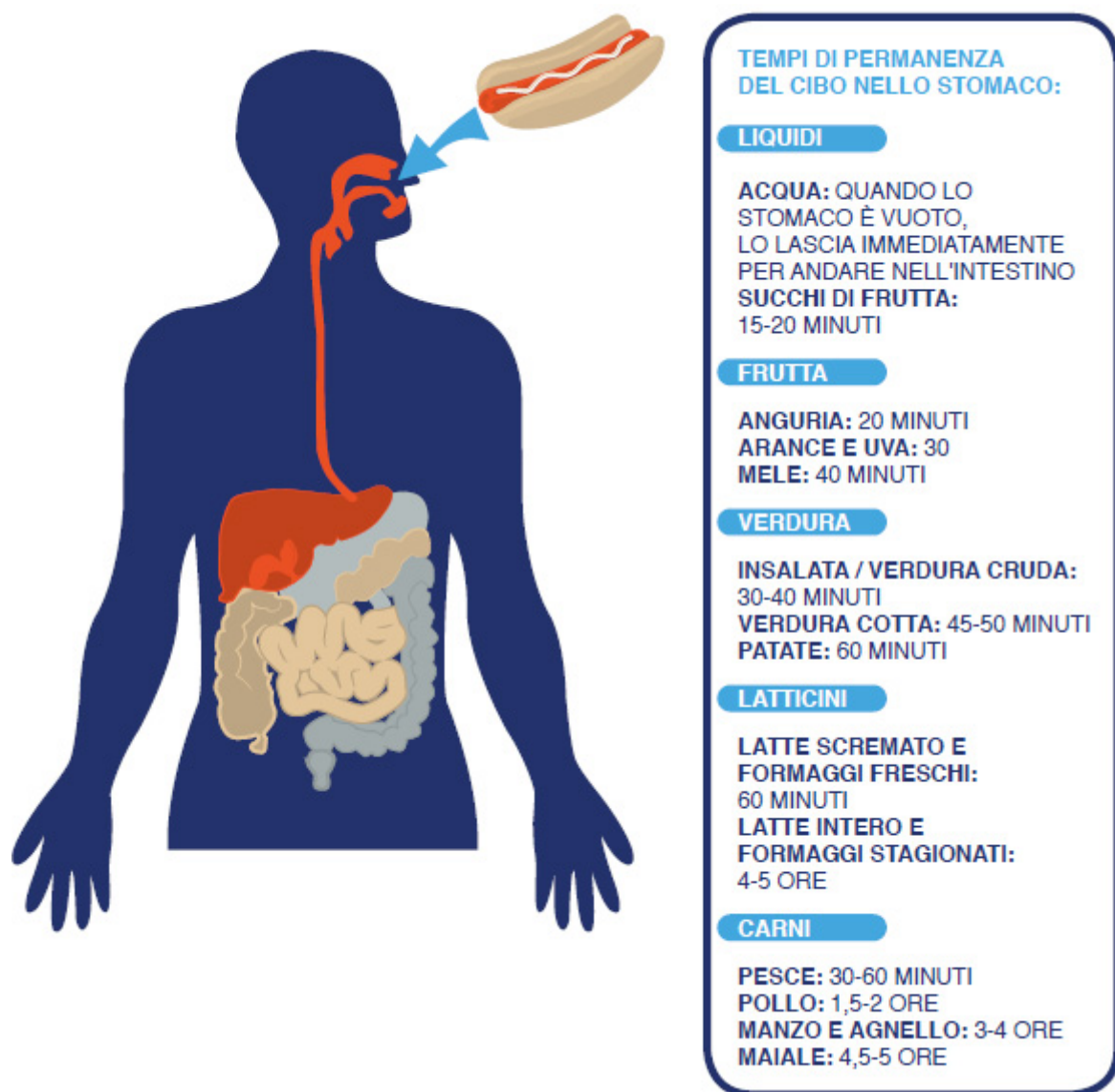



TABELLA 1 - LA DIGESTIONE DEI CIBI

Una volta che tutto è arrivato nell'intestino tenue, dove il cosiddetto *chimo* è irrorato dalla bile proveniente dal fegato, dai succhi pancreatici e da quelli intestinali, continua la digestione degli amidi rimasti e di altri carboidrati, frammenti di proteine e grassi, e avviene l'assorbimento dei nutrienti da parte dei villi intestinali. A questo punto, saranno passate circa sei-otto ore dalla deglutizione. Per finire, nell'intestino crasso sarà assorbita l'acqua, per formare le feci e dopo circa quaranta ore da quando abbiamo mangiato, i residui verranno espulsi dall'ano.

COSA SIGNIFICA AFFOGARE

Quella di annegare è una paura primordiale. Sarà successo a tutti di temere per la propria vita in mare o di sognare di sprofondare in mancanza di ossigeno. In acqua, gli esperti considerano due situazioni ben diverse: il pericolo e l'annegamento vero e proprio. Nella prima condizione ci si rende conto dell'emergenza e si cerca di attirare l'attenzione per ricevere aiuto; nel secondo caso, invece, si sta già iniziando a soffocare e nel nostro corpo scattano risposte automatiche che non permettono richieste di soccorso. L'annegamento si definisce *passivo* se è dovuto a circostanze come traumi, incidenti o svenimenti, *attivo* se non ci si riesce più a mantenere a galla.

Solitamente al cinema e in televisione una persona che sta affogando è rumorosa e ben visibile, nella realtà, invece, si tratta di un avvenimento veloce e silenzioso. Quella che scatta nei venti-sessanta secondi prima di annegare, infatti, è una reazione istintiva che non lascia scelta: il corpo cerca in ogni modo di ottenere l'aria che manca. Partono movimenti laterali delle braccia, per spingere la testa fuori dall'acqua, le gambe non si muovono, mentre il capo è reclinato indietro per evitare che la bocca venga sommersa ed è come se si cercasse di nuotare in una certa direzione, senza però muoversi. A occhi inesperti può sembrare che la persona stia semplicemente giocando.

Cosa accade al nostro corpo quando si annega? Nel tentativo di respirare, l'acqua può arrivare in gola e ciò provoca la contrazione involontaria di laringe e corde vocali (*laringospasmo*), volta a sigillare le vie aeree: in questo caso si parla di *annegamento asciutto*, che avviene per semplice soffocamento. La mancanza di ossigeno (*ipossia*) e l'aumento dell'anidride carbonica (*ipercapnia*) possono, però, causare il rilassamento della laringe, magari dopo lo svenimento, con conseguente inspirazione di acqua: in questo caso sarà il liquido nei polmoni a determinare ciò che viene chiamato *annegamento umido*.

Se l'acqua arriva ai polmoni, sorgono diversi problemi. Se si tratta di acqua di mare, a causa dell'osmosi (vedi pagina 104) avviene una forte riduzione della componente liquida del sangue, richiamata verso gli organi respiratori, e si verifica un successivo edema polmonare: in sostanza, si annega nei propri fluidi. Quando si tratta di acqua dolce, invece, il sangue diventa più

diluito, rischia di distruggere i globuli rossi e sbilanciare la chimica del sistema circolatorio: si arriva a contrazioni non coordinate e a un arresto cardiaco. La prolungata mancanza di ossigeno, inoltre, può avere conseguenze sul delicato equilibrio del cervello, con lesioni ed eventuale morte cerebrale.

PERCHÉ LE DITA IN ACQUA RAGGRINZISCONO?

È capitato a tutti dopo una bella nuotata al mare o semplicemente in seguito a un bagno caldo: le dita di mani e piedi diventano grinzose. Un mistero, questo, che ha incuriosito negli anni molti scienziati che hanno formulato diverse ipotesi sul perché questo avvenga.

La spiegazione più popolare coinvolge la struttura della nostra pelle. La cute, infatti, è formata da diversi strati, con altrettante caratteristiche (vedi pagina 115): in profondità abbiamo l'ipoderma che contiene grasso, tessuto connettivo, nervi e vasi sanguigni di grandi dimensioni; subito sopra troviamo il derma dove ci sono nervi, capillari, bulbi piliferi e ghiandole sudoripare; e infine c'è l'epidermide, ricca di terminazioni nervose, che con i suoi cinque livelli evita l'evaporazione dell'acqua nei tessuti e protegge il derma. Quello più superficiale si chiama *strato corneo* ed è composto da cellule morte che contengono cheratina, una proteina alla base anche di unghie e peli.

Secondo l'ipotesi più accreditata, quando stiamo per molto tempo a mollo, lo strato corneo assorbe le molecole d'acqua, aumentando in volume, e, dal momento che in ogni caso aderisce al livello sottostante, l'unico modo per gestire questo rigonfiamento è incresparsi. Perché succede solo a mani e piedi? La risposta è che questi possiedono lo strato corneo più spesso del corpo.

Eppure, viene qualche perplessità se si legge un articolo scientifico pubblicato su "Clinical Science" nel 1935, nel quale due scienziati descrivono il comportamento di un giovane con un nervo del braccio lesionato: dopo aver messo a mollo la mano, alcune delle sue dita avevano le grinze, altre invece no. È sorto così il dubbio che questo meccanismo avesse un'origine più neurale che strutturale. Quest'idea viene ripresa nel 1977 da due medici dello University College Hospital che pubblicano un articolo sul "British Medical Journal" nel quale propongono che il raggrinzimento sia usato come test per le malattie del sistema nervoso autonomo; e da allora arrivano nuove conferme in tale senso.

Ma cosa c’entrano i neuroni? L’idea alla base è che le dita raggrinziscano perché vasi e capillari del derma si restringono (un processo chiamato *vasocostrizione*). Se il derma perde volume, chiaramente l’epidermide sovrastante si increspa e a dare loro questo ordine sarebbero le terminazioni nervose involontarie che si attivano a contatto con l’acqua assorbita.

Alcuni scienziati si azzardano addirittura a darne un significato evolutivo. Nel 2013, ricercatori di Newcastle hanno ipotizzato su “Biology Letters” che mani e piedi raggrinziscano per aumentare l’aderenza alle superfici in acqua. Per dimostrarlo hanno fatto diversi test di manipolazione fuori e dentro l’acqua, con mani asciutte o tenute a bagno. Il risultato? Effettivamente con le dita raggrinzite è più facile maneggiare gli oggetti dentro (ma non fuori) l’acqua rispetto a quanto accada con le dita asciutte. È plausibile che durante l’evoluzione questa caratteristica sia stata selezionata perché favorisce la sopravvivenza? Difficile provarlo.

TUTTO QUELLO CHE C’È DA SAPERE SULL’ABBRONZATURA

Una battaglia contro i raggi del sole. Possiamo indorare la pillola finché vogliamo, ma l’abbronzatura è il modo in cui la nostra pelle si difende dagli attacchi della radiazione solare, grazie a una molecola chiamata *melanina*.

Sì, perché i raggi ultravioletti che ci colpiscono la possono danneggiare. Una scorretta e prolungata esposizione, infatti, può causare gravi tumori cutanei ed è per questo che si devono sempre usare le creme solari.

CARA AMICA MELANINA

Se possiamo abbronzarci, è grazie a una particolare cellula presente nel livello più profondo dell’epidermide, lo *strato basale* (vedi figura 2).

Il suo nome è melanocita e la sua attività principale è produrre melanina: questa proteina è un pigmento naturale ed è responsabile del colore non solo della nostra pelle, ma anche di iride, peli e capelli; inoltre, quando viene colpita dai raggi ultravioletti, ne assorbe l’energia. Si tratta pertanto di una specie di schermo naturale di cui ognuno è dotato: più si è scuri, più si è resistenti al sole (per conoscere le differenze tra i fototipi vedi pagina 116).

Questo schermo, tuttavia, non può sostituire le creme solari. Quando siamo al sole, la nostra cute reagisce in due modi. La componente A dei raggi ultravioletti (quella meno pericolosa; vedi

pagina 75) colpisce la melanina già presente nella pelle e la ossida, scurendola in breve tempo: l'effetto si nota a vista d'occhio, ma non garantisce maggiore protezione nei confronti del sole.

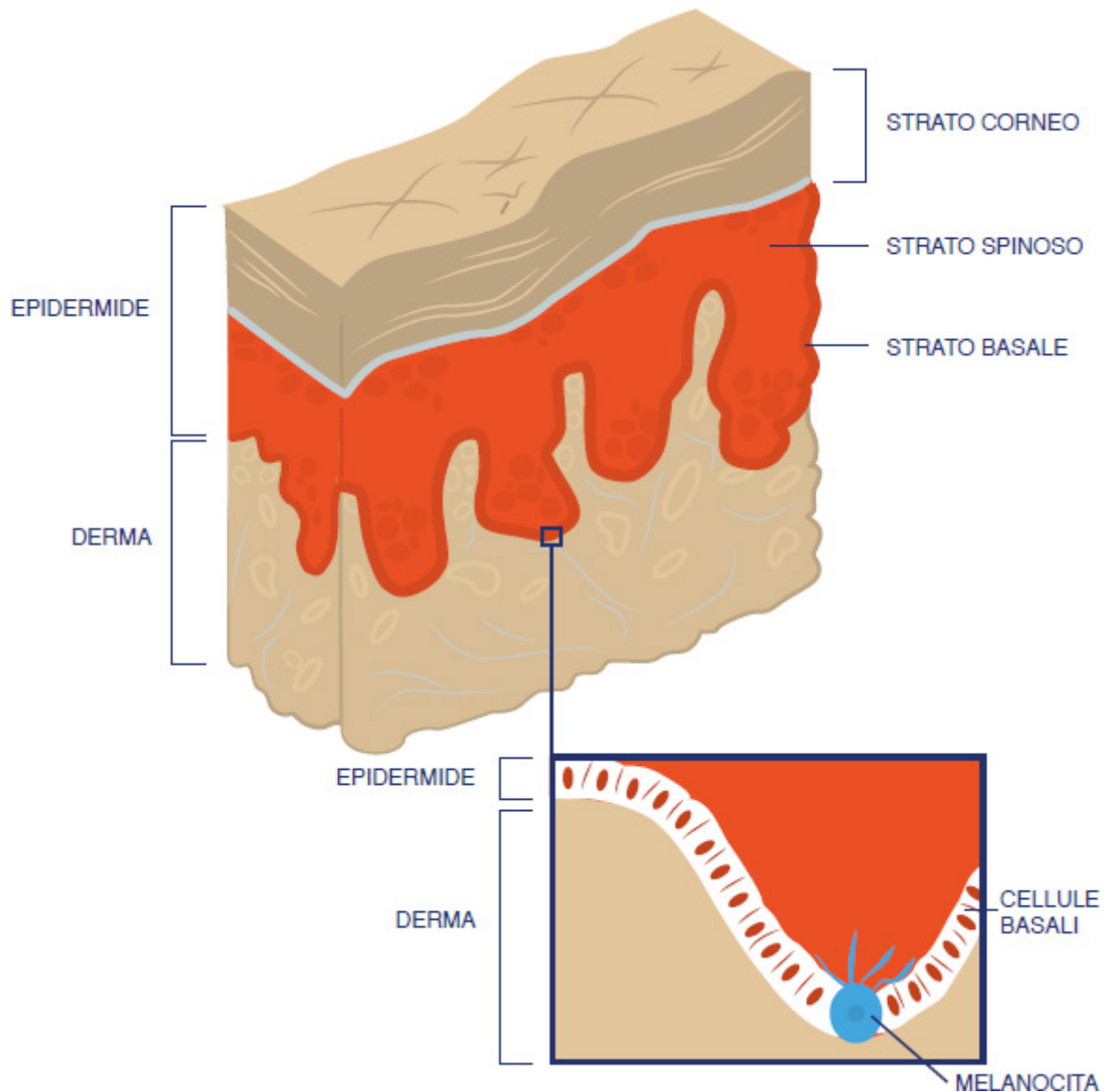



FIGURA 2 - COME È FATTA LA NOSTRA PELLE

Quando i più potenti UVB arrivano ai melanociti, invece, li stimolano a produrre una maggiore quantità di melanina (si pensa questo avvenga come reazione al danno genetico provocato): in questo caso, si tratta di un processo più lento che richiede qualche giorno per manifestarsi e che rende più efficace la nostra difesa naturale contro i raggi solari.

UNA PELLE DI TUTTI I COLORI

Ognuno ha il suo caratteristico colore: c'è chi ha una carnagione olivastra, chi invece è bianco come il latte, vi sono persone che si scottano molto facilmente, mentre altre sono più resistenti, senza contare poi quanto sia diverso il colorito tra caucasici e afroamericani. Queste differenze dipendono dalla quantità di melanina presente nell'epidermide, poiché il numero di melanociti è costante per ognuno di noi – ce ne possono essere oltre 2000 in un millimetro quadrato di pelle –, ma ognuno di loro produce più o meno melanina.

In particolare, esistono due tipi di melanina: quella scura (*eumelanina*) e quella rossastra (*feomelanina*). Nelle persone brune prevale la prima, mentre nei rossi la seconda. E nei biondi? Nel loro caso c'è un mix di entrambe. A seconda delle diverse tipologie di pelle, si può avere una classificazione che determina il rischio di scottature per ciascuno di noi. Questa scala è stata sviluppata nel 1975 da un dermatologo della Harvard University, Thomas Fitzpatrick. Ecco cosa si intende per ogni diverso fototipo.

- *Fototipo 1* Corrisponde a carnagione molto chiara, lentiggini, capelli biondi o rossi, occhi a loro volta chiari. La persona con questo fototipo è estremamente sensibile al sole, si scotta immediatamente con l'esposizione al sole e non si abbronza quasi mai; deve pertanto evitare l'esposizione diretta al sole e usare creme con fattori di protezione molto alti.
- *Fototipo 2* Anche in questo caso la carnagione è chiara, come gli occhi, spesso con lentiggini, i capelli sono biondi o castano chiaro. Le scottature arrivano con facilità, mentre è difficile che ci si abbronzi. è vivamente consigliato, quindi, usare creme molto protettive ed esporsi al sole con cautela.
- *Fototipo 3* Caratteristiche distintive sono i capelli castani, gli occhi chiari o marroni, la carnagione bruno-chiara. La persona con questo fototipo si scotta, ma riesce ad abbronzarsi con facilità. È consigliabile usare un fattore di protezione medio-alto.
- *Fototipo 4* Corrisponde a capelli castano scuro o neri e a occhi scuri, mentre la carnagione è olivastra o scura. È raro che si

scotti e questo fototipo si colora piuttosto facilmente, ma è meglio usare sempre una protezione medio-alta.

- *Fototipo 5* Caratteristici sono i capelli neri, gli occhi scuri e una carnagione bruno-olivastra. L'abbronzatura sarà intensa ed è consigliata una protezione media.
- *Fototipo 6* Anche in questo caso capelli e occhi sono scuri, mentre la carnagione è nera. Ci si scotta con estrema difficoltà e può bastare una protezione media.

COSA SIGNIFICA SCOTTARSI

Se ci siamo scottati al sole, significa che non abbiamo messo abbastanza crema solare e che la melanina nella nostra pelle non è stata in grado di assorbire tutti i raggi ultravioletti che l'hanno colpita. In sostanza: è uno dei modi con cui la cute reagisce al danneggiamento del DNA nelle cellule.

Alcune volte questi danni genetici (*mutazioni*) possono essere riparati, altre volte la cellula è destinata a morire o si trasforma in cancerosa. Con la scottatura le cellule "lanciano un grido d'allarme": dopo due ore dall'esposizione possono comparire infiammazione (*eritema*), gonfiore (*edema*) e bolle, il dolore più intenso si ha tra le sei e le quarantotto ore successive, ma la bruciatura potrebbe continuare a dolere fino a settantadue ore dopo. A seconda della gravità e dell'estensione della bruciatura, si possono accusare anche nausea, febbre, brividi di freddo, mal di testa e in questi casi è necessario rivolgersi a un medico.

Una volta scottati, possiamo fare ben poco, se non aspettare e cercare di alleviare i sintomi. Una doccia fredda può dare ristoro, senza però usare sapone sull'area irritata, si possono applicare impacchi freddi o – nel caso in cui non ci siano bolle – creme idratanti e, sotto controllo medico, in alcuni casi si possono assumere antidolorifici. Si deve evitare di sfregare la zona infiammata, perciò sono consigliati indumenti comodi e abbondanti. È da escludere un'ulteriore esposizione al sole.

Dopo qualche giorno, la pelle inizia a spellarsi: le cellule morte saranno sostituite da altre appena maturate, secondo quello che è un naturale processo di rinnovamento e per il quale non si può fare molto. Per questo è meglio non strappare i brandelli,

rischiando di esporre cellule ancora fragili, ma attendere che cadano da soli.

I TUMORI DELLA PELLE

La nostra pelle è un vero e proprio organo e svolge diverse funzioni, come per esempio ricoprire tutto il corpo, difenderci dall'esterno, regolare la temperatura, evitare l'evaporazione e consentire il tatto, perciò bisogna averne cura, prestando particolare attenzione nei confronti del sole. I raggi ultravioletti sono in grado di penetrarle in profondità e non solo possono farla invecchiare prematuramente, ma anche danneggiarne il DNA e innescare lo sviluppo di tumori maligni.

Ecco i principali tipi di cancro della pelle che possono essere causati dal sole.

- *Melanoma* È il tumore più conosciuto e pericoloso. Come dice il nome, colpisce i melanociti, le cellule responsabili della produzione della melanina e può interessare sia la pelle integra sia un neo (o nevo) melanocitico. I nei scuri, infatti, non sono altro che un concentrato di melanociti e chi ne ha molti ha maggiori probabilità di contrarre un cancro cutaneo e deve, quindi, sottoporsi a regolari controlli per verificarne l'evoluzione nel tempo. In che modo si può capire se un neo si sta trasformando in un melanoma? Basta seguire la semplice *regola ABCDE*, per la quale se il neo diventa asimmetrico (A), ha bordi (B) irregolari e indistinti, un colore (C) variabile, dimensioni (D) in aumento o si evolve (E) nel tempo, è il caso di farlo controllare da un medico. A rischio, però, non sono solo le persone con molti nei, poiché infatti devono fare molta attenzione anche quelle con fototipo 1-2, con carnagione, capelli e occhi chiari. Se in famiglia ci sono già stati casi di melanoma, inoltre, le probabilità di contrarlo aumentano e anche chi si è scottato durante l'infanzia e l'adolescenza – molta cautela con i bambini, dunque – deve tenersi sotto controllo. Tuttavia, il principale fattore di rischio resta l'esposizione cronica alla luce del sole. Perché tanti scrupoli? La motivazione è semplice: fino a pochi anni fa il melanoma era considerato un tumore raro, ma negli ultimi vent'anni la sua incidenza è aumentata di oltre il 4 per cento ogni anno e le

conseguenze di un melanoma non trattato possono essere fatali. Negli stadi iniziali, basterà rimuoverlo chirurgicamente, ma in quelli avanzati alcune cellule cancerose possono entrare nel circolo sanguigno o linfatico (*metastasi*) e causare tumori secondari.

- *Basalioma* I carcinomi basocellulari sono i tumori cutanei più diffusi e riguardano le cellule basali dell'omonimo strato dell'epidermide – il più profondo. Raramente arrivano allo stadio di metastasi, ma distruggono i tessuti circostanti e possono sfigurare. Nell'80 per cento dei casi colpiscono generalmente testa e collo, seguiti da tronco (15 per cento), braccia e gambe. I basaliomi appaiono come piccoli noduli perlacei o come chiazze rosa che aumentano lentamente di dimensione, alcune volte sono pigmentati per cui possono essere scambiati per melanomi e il trattamento più usato è l'asportazione chirurgica. Anche nel caso dei tumori basocellulari, i maggiori fattori di rischio riguardano l'esposizione al sole e il fototipo (1-2).
- *Tumore squamocellulare* Questi carcinomi, chiamati anche *spinocellulari*, hanno origine dalle cellule più superficiali dell'epidermide, nello strato spinoso. Sembrano noduli o aree a bordi rialzati con una depressione centrale, ulcerati e a volte sanguinanti. Per diffusione è il secondo tumore cutaneo, dopo il basalioma. Può comparire ovunque sul corpo, ma generalmente insorge su labbro inferiore, padiglioni auricolari, cuoio capelluto, naso, dorso delle mani e genitali. Si rimuove con la chirurgia, perché può generare metastasi, ma solitamente non è mortale. È più probabile che si sviluppi su cute danneggiata e sofferente, magari a causa di precedenti ustioni o cicatrici. Anche in questo caso il fattore che lo scatena è l'esposizione solare e i fototipi chiari sono più a rischio. Questo tumore colpisce maggiormente le persone con più di 40 anni.

CONSIGLI PER UN'ABBRONZATURA PERFETTA

Tutti vogliono essere abbronzati, senza distinzione di sesso o età. Tuttavia, la tintarella può essere rischiosa per la nostra pelle –

soprattutto per i più giovani – e bisogna trascorrere il minor tempo possibile al sole. Ecco qualche consiglio perché quel breve periodo sia più efficace sul nostro colorito.

- *Curare la pelle prima e dopo* L'epidermide sana è il miglior modo per prendere e mantenere un po' di colore. Nei giorni precedenti l'esposizione bisogna esfoliarla per togliere le cellule morte e usare regolarmente la crema idratante. Dopo aver preso il sole, invece, è meglio evitare saponi aggressivi che possano irritare la pelle – gli oli sono l'ideale – e bisogna continuare a idratarla.
- *Mangiare per il sole* Alcuni dermatologi pensano che un particolare tipo di alimentazione favorisca l'abbronzatura. Il principale elemento utile e naturale si chiama *betacarotene* ed è un precursore della vitamina A, che stimola la produzione di melanina: i cibi che lo contengono sono frutta e verdura di colore giallo e arancione (come carote, albicocche, nespole, pesche, melone).
- *Proteggersi, proteggersi, proteggersi* Per evitare di danneggiare la pelle, bisogna cercare di non esporsi nelle ore centrali della giornata (tra le 10 e le 16) e usare sempre una protezione solare. Per i fototipi più scuri, si può iniziare con fattori protettivi alti e poi diminuirli, senza scendere però sotto la protezione 15.

MELANINA E MELATONINA SONO LA STESSA COSA?

La *melanina*, come abbiamo visto, è la molecola responsabile del colore della nostra pelle e viene prodotta nell'epidermide da cellule chiamate *melanociti*. La *melatonina*, invece, è un ormone fabbricato dalla *ghiandola pineale* (o epifisi), una ghiandola grande come una nocciola che si trova al centro del cervello. Perché hanno un nome simile? L'etimologia di entrambe le parole deriva dal greco *μέλας* (mélas) che significa "nero" e mentre la melanina è un pigmento scuro e il collegamento è semplice da individuare, per la melatonina ci vuole un po' di fisiologia. L'epifisi, infatti, produce questo ormone solamente di notte, quando la retina non viene colpita dalla luce e non ne inibisce il funzionamento. Uno dei diversi effetti che la melatonina ha sul nostro corpo è proprio la regolazione del sonno e del ciclo sonno-veglia, il cosiddetto *ritmo circadiano*. La melatonina aumenta la sonnolenza e

abbassa la temperatura corporea, preparando il corpo a dormire. Visto che può anticipare il momento in cui si ha sonno, ne viene spesso consigliata l'assunzione come rimedio per il jet lag.

LA VITAMINA DEL SOLE

Si chiama *vitamina D* ed è essenziale per la salute delle nostre ossa. Grazie ad essa, infatti, siamo in grado di assorbire due elementi che introduciamo con l'alimentazione e che servono a rinforzarle: il fosforo e il calcio. Senza vitamina D (in particolare, la D3, o colecalciferolo) le ossa si possono ammorbidire e deformare, e la sua mancanza nei bambini, per esempio, può causare rachitismo. Anche se possiamo assumerla con alcuni alimenti come salmoni, sardine e sgombri, o burro, carne e uova, il principale apporto lo abbiamo dalla luce solare che colpisce la pelle. I raggi ultravioletti, infatti, sono in grado di scatenare la trasformazione del 7-deidrocolesterolo in D3 negli strati più profondi dell'epidermide. Quanto ci si deve esporre ogni giorno per garantire un adeguato assorbimento di vitamina D? Secondo gli esperti, basterebbe ricevere raggi diretti su viso, braccia, spalle o gambe per circa dieci-quindici minuti due o tre volte la settimana. Bisogna chiaramente sempre fare attenzione a proteggersi, soprattutto nel caso di fototipi chiari. Negli ultimi anni sono stati condotti diversi studi sulla capacità delle creme solari di ridurre la produzione di questa fondamentale vitamina. Sebbene i risultati siano contrastanti, sembra che questa diminuzione esista, ma sia poco significativa.

CHI VIVE SOSPESO IN MARE

Quanti mari esistono? Tanti, a sentire chi fa scienza: gli oceani sono un mosaico di condizioni diverse che variano a seconda della luce, della pressione, della temperatura e chi più ne ha, più ne metta.

Pertanto, come classificare la vita marina? I ricercatori hanno cercato di risolvere la questione in termini pratici: da un lato, vi sono gli *organismi pelagici*, che vivono principalmente sospesi nel mare e, dall'altro lato, quelli *bentonici*, che invece passano la propria esistenza a stretto contatto con il fondale.

A loro volta, gli organismi pelagici possono essere divisi in due categorie: il *plancton*, che si muove poco ed è in balia di onde e correnti, e il *necton*, che invece nuota attivamente.

IL PLANCTON, ALLA DERIVA TRA LE CORRENTI

La parola *plancton* deriva dal greco *πλαγκτόν* (plancton), ossia "vagabondo", per sottolineare la resistenza passiva al movimento del mare. Di questa categoria artificiale fa parte un'infinità di specie diverse, dagli organismi microscopici come le alghe unicellulari e i crostacei krill, alle meduse giganti.

Un ruolo importante nell'ecosistema marino è svolto dal *fitoplancton*, che comprende tutti gli organismi planctonici in grado di svolgere la fotosintesi: grazie ai raggi del sole che ricevono nelle acque superficiali, questi smaltiscono l'anidride carbonica e producono ossigeno. Alcuni scienziati stimano che almeno il 50 per cento dell'ossigeno presente nell'atmosfera del pianeta sia

dovuto a questa massa di piccoli e praticamente invisibili corpuscoli.

Le più importanti classi di fitoplancton sono i *dinoflagellati* e le *diatomee*: queste ultime sono alghe molto affascinanti, di cui esistono migliaia di specie. Sono organismi unicellulari rivestiti da un frastagliato guscio di silice che, visto al microscopio, li rende simili a piccoli pacchi regalo. Anche i dinoflagellati sono unicellulari, ma possiedono un guscio di membrana di cellulosa e sono dotati di due flagelli (*pseudotentacoli*) che consentono semplici movimenti.

Alla mercé delle onde esistono anche altri organismi che per sopravvivere devono, però, cibarsi di loro simili: si tratta dello *zooplancton*, un gruppo che numericamente comprende circa il 10 per cento del fitoplancton, ma che ha grande importanza nell'alimentazione di animali come le balene. Questi mammiferi, infatti, piuttosto che andare a caccia di prede, filtrano l'acqua del mare inghiottendo la microscopica popolazione di zooplancton; e tra questi troviamo il krill, un piccolo gamberetto di 1-2 centimetri che vive nelle acque gelide e si ciba di diatomee.

La grande varietà di animali appartenenti allo zooplancton diventa ancora più lampante quando si parla di meduse (vedi pagina 90): si va dalle specie che non raggiungono neanche il millimetro a quelle con un diametro di 2 metri.

IL NECTON E I NUOTATORI DEL MARE

Sono i re e le regine degli oceani. Tutta la vita che riconosciamo come marina fa parte di questa grande categoria: il *necton*, che raggruppa tutti gli organismi in grado di nuotare e contrastare il movimento di onde e correnti. Di questa grande famiglia fanno parte numerose specie diverse che hanno sviluppato adattamenti simili per affrontare la vita in mare. Da un lato, questi hanno un corpo generalmente affusolato, o che si presenta a forma di siluro, così da aumentare l'idrodinamica e diminuire la resistenza all'acqua; dall'altro lato, hanno strutture a forma di remo per muoversi, come pinne e tentacoli.

Spesso, inoltre, il colore della parte superiore del corpo è diverso da quello della parte inferiore per un motivo puramente mimetico: il dorso è scuro, per confondersi meglio con il fondale,

mentre il ventre è chiaro, per essere poco distinguibile dalla superficie luminosa.

Tra i grandi gruppi nectonici ci sono ovviamente *molluschi* come i cefalopodi, di cui fanno parte seppie, calamari, Nautilus e polpi. Questi invertebrati – organismi senza una colonna vertebrale – hanno una testa molle circondata da un piede formato da molti tentacoli.

Specie come il Nautilus possiedono una conchiglia (vedi pagina 98), mentre altre come la seppia ne hanno solo un vago ricordo (quello che viene comunemente chiamato *osso*) e altre ancora l'hanno ormai perso.

Un'altra categoria di invertebrati del necton è formata dai *crostacei* (aragoste, gamberi e granchi), la cui principale caratteristica è l'esoscheletro, un'armatura fatta di chitina (lo stesso materiale delle nostre unghie).

A differenza delle conchiglie, questo guscio è diviso in placche che consentono all'animale di articolare le varie parti grazie a muscoli agganciati direttamente alla corazza.

Arrivano poi gli animali marini più conosciuti: i pesci. La loro caratteristica principale è possedere branchie per respirare (vedi pagina 128) e pinne per nuotare.

Quanti sono i pesci nel mare? Si stima che esistano più specie di pesci e individui che ne fanno parte, di quante siano le specie e gli individui di tutti gli altri vertebrati messi insieme. Pensate a quante varietà ce ne sono: alcuni misurano 10 millimetri, altri oltre 20 metri, altri ancora pesano un decimo di grammo o più di 15 tonnellate.

Grazie a specifici adattamenti (come, per esempio, la vescica natatoria per controllare la galleggiabilità) hanno colonizzato ogni ambiente marino, dalle acque più superficiali alle profondità più buie. Ne esistono due categorie principali: i pesci cartilaginei e quelli ossei.

Della prima, la classe dei *Condritti*, fanno parte gli squali e le razze, di cui esistono rispettivamente trecentocinquanta e trecento specie diverse. La caratteristica principale? Il loro scheletro è formato da un tessuto elastico chiamato *cartilagine*, lo stesso che riveste le nostre articolazioni.

L'altra categoria, invece, è quella degli *Osteitti*, i pesci dotati di uno scheletro osseo, e comprensiva di oltre ventisettemila specie diverse. Rispetto a squali e razze, questi ultimi si riconoscono per

una maggiore simmetria sul piano orizzontale e per la posizione della bocca sulla parte terminale del corpo invece che su quella inferiore; inoltre, questi possono vivere sia in acqua dolce sia in acqua salata.

Un ultimo importante gruppo di organismi marini (escludendo rettili e uccelli) è quello dei *mammiferi*.

Sì, anche la classe degli animali a sangue caldo che comprende gli esseri umani è rappresentata e ne esistono tre diversi gruppi: i cetacei (delfini e balene), i pinnipedi (foche e leoni marini) e infine i sirenidi (lamantini e dugonghi). Rispetto a noi hanno dovuto sviluppare alcuni adattamenti alla vita marina, e non solo per quanto riguarda la respirazione (vedi pagina 128), ma anche per la sopravvivenza in un ambiente salino e freddo.

In particolare, per evitare la disidratazione, incamerano liquidi dal cibo, bevono pochissima acqua di mare, espellono urina con un'alta concentrazione di sale e hanno un metabolismo molto veloce, che garantisce un calore corporeo conservato da diversi strati di grasso e a volte da una folta pelliccia (vedi pagina 106).

Le grandi dimensioni di alcune specie, inoltre, riducono la superficie a contatto con l'ambiente esterno rispetto alla massa totale, così da perdere meno calore tramite la pelle.

LA BRUTTA REPUTAZIONE DEGLI SQUALI

Nel 2012, a livello globale, ottanta persone sono state attaccate da uno squalo e di queste solo sette sono state uccise, stando ai dati dell'International Shark Attack File, il registro mondiale degli attacchi compiuti da questi spaventosi pesci. La maggioranza di questi attacchi si è svolta in Florida (ventisei casi, nessuna vittima), seguita dall'Australia (quattordici casi, due vittime). E nel Mediterraneo? Dal 1847 al 2012 sono stati registrati trentasei casi, di cui diciotto fatali. L'Italia è il paese con il numero maggiore di attacchi (undici), ma non di decessi (tre), e l'ultima morte è avvenuta a Piombino nel 1989. Si tratterà di freddi numeri, ma questi possono essere utili a ridimensionare il timore degli squali. L'agenzia per il mare statunitense NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), per esempio, scrive chiaramente sul suo sito che è più rischioso restare fulminati dalle luci di un albero di Natale che essere uccisi da uno squalo. Gli squali, infatti, non cacciano l'uomo e, se attaccano, è semplicemente per errore: scambiano una persona per una preda come una foca, un pesce o una tartaruga e, non appena realizzano che si tratta di altro, di solito la lasciano stare.

COS’È IL NERO DI SEPPIA

Il risotto al nero di seppia è una prelibatezza, ma vi siete mai chiesti cosa ci sia dentro? Ebbene, si tratta principalmente di muco, che lo rende denso, e melanina, che invece lo colora: in sostanza, è il liquido secreto dalle seppie per sfuggire ai predatori. Diversi cefalopodi sono in grado di produrlo e conservarlo all’interno di una sacca vicino alle branchie, per spruzzare in acqua un copioso getto di inchiostro quando si sentono in pericolo.

Alcune specie lo fanno per confondere l’avversario e coprire la propria fuga, altre invece usano una strategia più sottile, preferendo sparare più volte quantità minori di inchiostro con un’alta concentrazione di muco, al fine di renderlo più compatto. In questo modo in acqua si vanno a formare diverse masse simili a quelle dell’animale, l’aggressore ha così maggiori probabilità di concentrare l’attacco sulle copie e il mollusco può mettersi in salvo. La prossima volta che vi trovate davanti il nero di seppia, meglio non pensare a quello che state mangiando.

COME FUNZIONA L’ECOLOCALIZZAZIONE

Alcuni cetacei come delfini, capodogli e orche sono in grado di individuare la preda a occhi chiusi. Si tratta dell’equivalente biologico del sonar (vedi pagina 45): questi animali emettono dalla regione nasale un treno di suoni ad alta frequenza, chiamati *click*, e attendono che torni indietro l’eco di un ostacolo o di una preda. Le onde sonore di ritorno sono poi percepite come vibrazioni nella regione mandibolare per essere trasmesse a loro volta, tramite tessuto adiposo, fino all’orecchio interno. Infine, il cervello ne interpreta il significato. Grazie a questa mappa sonora, l’animale è capace di orientarsi in ambienti a visibilità limitata e scovare la preda, che può arrivare addirittura a stordire emettendo un suono particolarmente forte.

COME RESPIRANO PESCI E CETACEI

Anche i pesci hanno bisogno di ossigeno per vivere, tuttavia il modo in cui lo ottengono è molto diverso da quello dei mammiferi. Anche se ne sono circondati, i pesci non prendono questo elemento dividendo la molecola d’acqua, che contiene idrogeno e ossigeno (H_2O): questi atomi sono saldamente legati tra loro e la loro scissione va al di là delle capacità degli organismi marini. I pesci infatti catturano direttamente le molecole di O_2 disciolto nel liquido. Circa il 36 per cento dei gas che si

sciolgono nella zona superficiale degli oceani, infatti, è costituito da ossigeno, sebbene la sua concentrazione nell'atmosfera terrestre sia cento volte superiore. A questo, si aggiunge l'O_2 prodotto dalla fotosintesi di alghe e piante sottomarine. In ogni litro d'acqua di mare si trovano circa 6 milligrammi di ossigeno: una quantità molto piccola, ma essenziale per la vita marina (e uno dei parametri per la qualità delle acque; vedi pagina 71), che i pesci estraggono tramite i loro organi che si chiamano *branchie*.

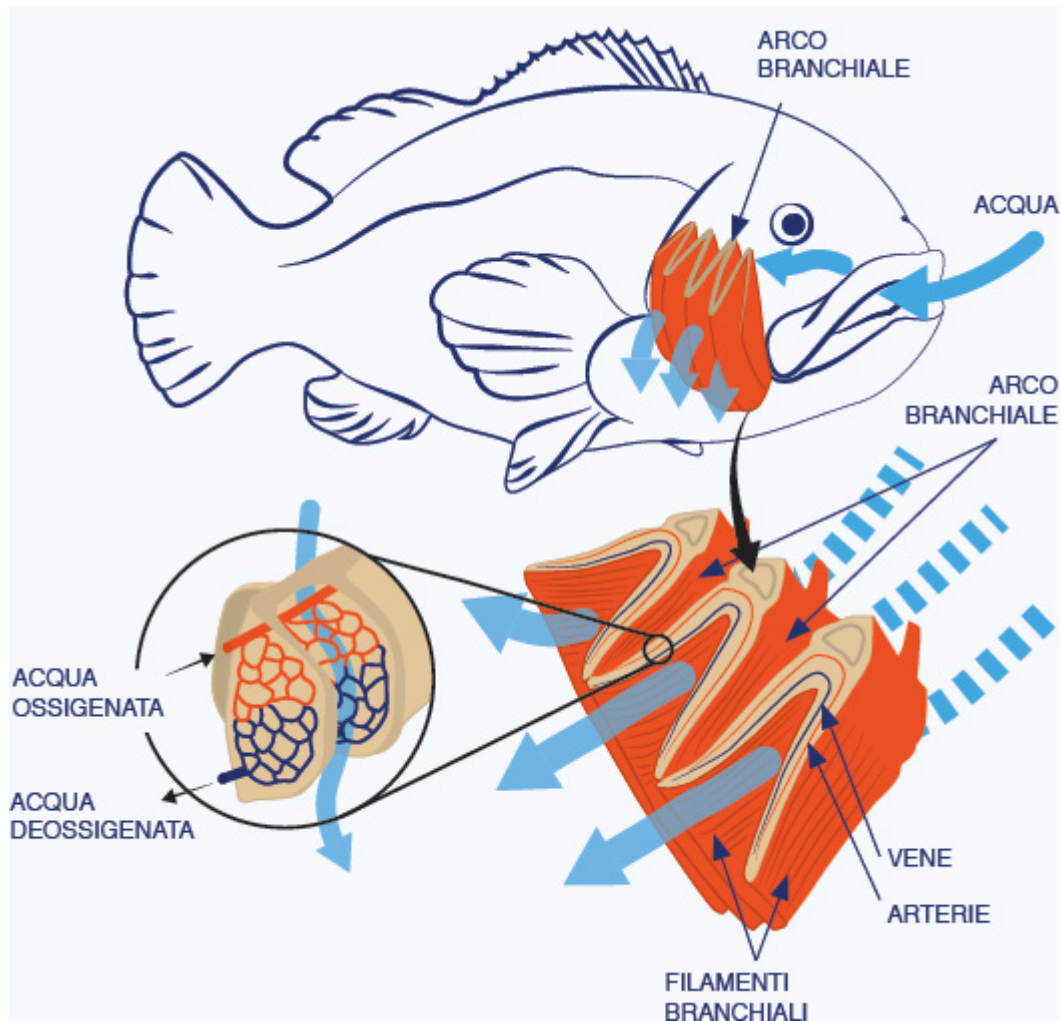



FIGURA 3 – COME FUNZIONANO LE BRANCHIE

Il processo della respirazione per un pesce è molto semplice: l'acqua con l'O_2 disciolto entra dalla bocca ed esce dalle branchie, tipici tagli che si vedono ai lati del capo di un pesce e si presentano come strutture filamentose e sfrangiate, così da aumentare la superficie di contatto con l'acqua che vi viene pompata attraverso (vedi figura 3). Essendo più concentrato nell'acqua, l'ossigeno è assorbito dai capillari sanguigni attraverso la sottile membrana delle branchie, mentre il contrario avviene con l'anidride carbonica che viene rilasciata verso l'esterno.

Anche orche, balene e delfini devono respirare, ma lo fanno attraverso polmoni che scambiano ossigeno e anidride carbonica con l'aria, perciò ogni tanto sono costretti a risalire in superficie e prendere una boccata. Quel foro che vediamo sulla loro testa viene chiamato *sfiatatoio* e ha la stessa funzione delle nostre narici. Nel momento in cui un cetaceo espira, l'aria calda che viene dai polmoni entra in contatto con l'atmosfera e si condensa formando il caratteristico spruzzo. A differenza degli esseri umani, che respirano sia volontariamente sia involontariamente, i mammiferi marini lo fanno solo in modo consapevole, poiché se respirassero per sbaglio dell'acqua, affogherebbero. Eppure, grazie a una maggiore capacità di conservare l'ossigeno, sono in grado di immergersi per un tempo nettamente superiore rispetto agli altri mammiferi: per esempio, una balenottera azzurra può restare sott'acqua trenta minuti, un capodoglio sessanta.

CHI VIVE SUL FONDO

Che cosa hanno in comune alghe e granchi, piante acquatiche e stelle di mare, ricci e spugne? Fanno parte della categoria del *benthos*, che comprende tutti gli organismi strettamente dipendenti dal fondale marino, un habitat che può essere freddo o caldo, superficiale o profondo, ricco di vita e nutrienti o quasi sterile, e che ovviamente raccoglie anche la vita che si svolge sulla spiaggia.

UN'ALGA NON È UNA PIANTA

A un occhio poco allenato, l'alga che arriva fino alla battigia e si impiglia nel nostro piede può sembrare senza alcun dubbio una pianta, quando in realtà quella sostanza spesso verdastra e molle è tutt'altra cosa. Le alghe, infatti, sono organismi unicellulari (come il fitoplancton) o pluricellulari molto semplici, adattati a vivere in acqua. Possono superare i 60 metri di lunghezza, ma anche attecchire in piccole cellule sulla superficie degli scogli, formare rigogliose foreste sottomarine o crescere isolate. Alcune nella forma somigliano alle piante, ma i loro tessuti non sono particolarmente differenziati: non hanno, infatti, bisogno né di radici né di vasi conduttori.

Normalmente, una comune pianta terrestre ha radici che la ancorano al terreno e assorbono acqua e sostanze nutritive, un tronco che la sorregge e foglie che si occupano della fotosintesi, le alghe, invece, sono formate da un unico corpo chiamato *tallo*, le cui parti sono diverse solo nella forma: ogni cellula, infatti, provvede al proprio sostentamento grazie alla fotosintesi e non c'è bisogno di vasi che trasportino nutrimento al resto dell'organismo, poiché l'anidride carbonica necessaria al sostentamento è già

disciolta nell'acqua che la circonda. E che dire del tronco? Non serve: la spinta di Archimede sostiene l'alga, che ha praticamente la stessa densità del liquido che la circonda.

In genere, le alghe si differenziano tra loro a seconda dei pigmenti accessori che contengono, che donano loro un ampio ventaglio di colorazioni e che fanno sì che queste siano in grado di assorbire particolari componenti dello spettro luminoso, che in acqua è sensibilmente modificato (vedi pagina 41). Ci sono le alghe verdi che vivono in acque superficiali e attirano la luce rossa e arancione, la prima a fermarsi nelle profondità marine; poi quelle brune che, invece, assorbono i raggi blu-verdi; e infine, prima di arrivare al buio totale, troviamo le alghe rosse che preferiscono le lunghezze d'onda blu.

TRA BATTIGIA E PROFONDITÀ

La vita degli organismi bentonici che si trovano sulla spiaggia non è affatto semplice. Pensate di dover prosperare in un ambiente battuto dalle onde e sommerso due volte al giorno. Uno dei problemi maggiori per un'alga o un animale che viva nella *zona intertidale*, quell'intervallo tra il massimo dell'alta e il minimo della bassa marea, infatti, è il rapido cambiamento delle condizioni ambientali.

Piante e animali che abitano quest'area, per esempio, devono resistere alle variazioni di temperatura: pensate al caldo soffocante dei raggi del sole, seguito improvvisamente dall'acqua fredda; oppure ai predatori, perché con la bassa marea il pericolo arriva dalla terra, mentre con quella alta dal mare. Eppure, in spiaggia c'è un'esplosione di vita.

Prendete, per esempio, una spiaggia di scogli. Quella distesa di pietre nasconde una grandissima biodiversità e il luogo dove mare e terra si incontrano promette un'ampia quantità di cibo: le onde scuotono le acque, distribuiscono uniformemente i nutrienti, mantengono costanti i gas disciolti e assorbono i minerali delle rocce erose. Tra gli scogli, inoltre, si possono trovare habitat e nicchie molto diversi tra loro, poiché vi sono ambienti caldi o freddi, bui o luminosi, più o meno salati.

La spiaggia sabbiosa, invece, è un luogo decisamente più ostile. Certo, chi è delle nostre dimensioni non ha grandi problemi,

ma per organismi più piccoli può essere molto difficile convivere con la sabbia. I granelli, infatti, con i loro spigoli affilati, scalfiscono le loro protezioni e si inseriscono nei tessuti danneggiandoli; inoltre, in mancanza di un appoggio stabile per scavare, nascondersi sottoterra diventa complesso e anche mangiare è un problema, dovendo separare il cibo dai granelli inorganici. Per questo i migliori esempi di organismi bentonici della sabbia sono molluschi come le vongole, seguite da crostacei come i granchi.

Che dire invece dei ciottoli? Ancora peggio, con i piccoli massi che si urtano tra loro al passare delle onde.

Neanche il buio delle profondità oceaniche sembra ideale per la vita, eppure gli organismi marini sono arrivati anche lì e gli scienziati scoprono di continuo nuove e curiose specie. Oltre alla totale oscurità, devono affrontare un ambiente freddo, a salinità e pressione elevate, in cui c'è scarsità di cibo e ossigeno. In generale, il loro metabolismo è alquanto lento: mangiano poco, si muovono piano e vivono molto a lungo. Per sopravvivere, nel corso dell'evoluzione hanno sviluppato caratteristiche alquanto particolari: alcune specie, per esempio, sono considerevolmente più grandi rispetto a loro parenti che vivono più in superficie (*gigantismo*), altre hanno sensi molto affinati per compensare la scarsa luminosità ambientale, o producono da sole luce (*bioluminescenza*). Un altro segno distintivo è spesso la fragilità: in acque calme e profonde non è necessario uno scheletro solido, difficile da costruire a causa della scarsità di calcio e dell'ambiente acido.

LE DIFFERENZE TRA I RICCI DI MARE

Spesso li evitiamo accuratamente, altre volte li cerchiamo con avidità. I ricci di mare sono gioia e delizia delle acque del Mediterraneo.

Si tratta di animali della classe *Echinoidea*, che a sua volta fa parte degli *Echinodermi* in compagnia di stelle e cetrioli di mare.

Il corpo del riccio è rivestito da un esoscheletro calcareo e numerosi aculei (vedi figura 4) che a volte si spezzano nella nostra pelle e vanno estratti per evitare infezioni. Nella parte inferiore si trovano le branchie e la bocca, circondata da cinque denti (la *lanterna di Aristotele*), mentre in quella superiore spunta l'ano.

Diversamente da quanto si pensa, dei ricci mediterranei non si mangiano le uova ma le gonadi, ovvero gli organi che producono

spermatozoi e ovuli, e per questo saranno commestibili sia i maschi che le femmine, ma solo di alcune specie.

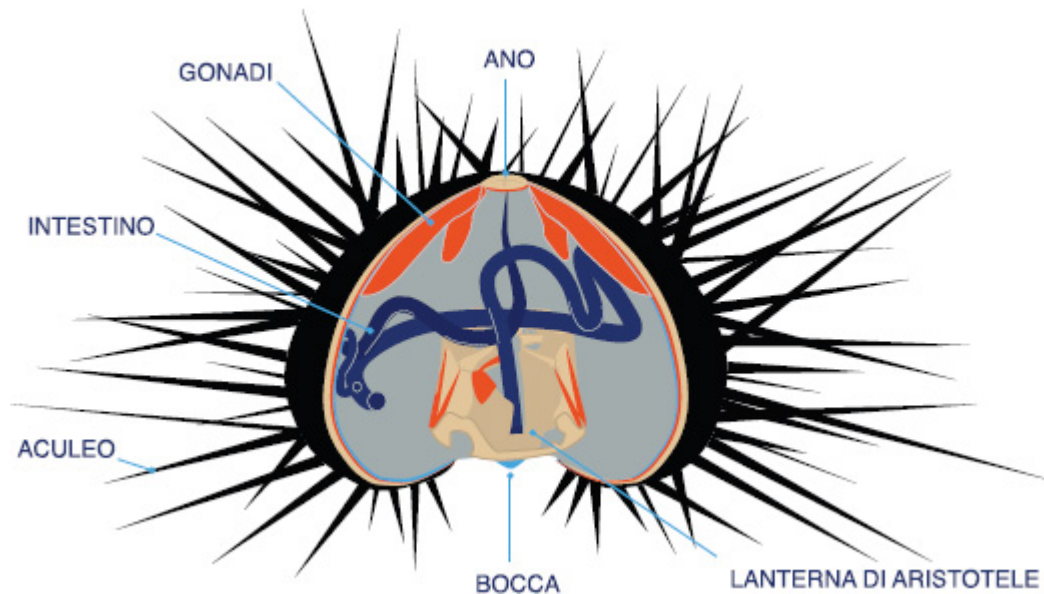



FIGURA 4 - L'ANATOMIA DI UN RICCIO

La cultura popolare divide erroneamente il sesso dell'animale per colore, quando si tratta invece di specie diverse: i ricci neri sono *Arbacia lixula* (non commestibili), quelli viola, marroni o verdastri *Paracentrotus lividus* (e si possono mangiare). In molte zone d'Italia la loro raccolta è vietata in alcuni periodi dell'anno, per non compromettere la fase riproduttiva. Attenzione a consumarli crudi, però, perché come per altri frutti di mare, soprattutto i molluschi bivalvi, si rischia di contrarre malattie di tipo batterico o virale.

LA DURA VITA DELLE PIANTE ACQUATICHE

La materia vivente sopravvive grazie all'energia che riesce a conservare e utilizzare. Nulla si crea dal niente, per cui il problema è trasformare un tipo di energia in un altro e uno dei modi più semplici di farlo è catturare i raggi solari e "impacchettarne" l'energia all'interno di molecole come i carboidrati, che poi si potranno nuovamente scindere al bisogno. Un discorso che vale sia per la superficie terrestre, sia per le

profondità marine. È il processo della *fotosintesi*, che in mare è la fonte di energia di alcuni batteri, alghe e piante acquatiche.

A questi organismi bastano tre semplici ingredienti come l'anidride carbonica, l'acqua e i raggi del sole per produrre, rilasciando ossigeno, catene di atomi di carbonio, idrogeno e ossigeno (carboidrati) da usare come combustibile da bruciare per mantenere i propri processi vitali. Sembra facile, ma la vita per una pianta acquatica è più dura rispetto a quella di una che se ne sta all'asciutto.

La luce è un ingrediente fondamentale per la fotosintesi, peccato che questa riesca ad arrivare solo a una limitata profondità marina (vedi pagina 76), motivo per cui la maggior parte di alghe e piante acquatiche resta in superficie, o ha foglie e steli che si estendono per centinaia di metri verso il fondale, dove si trovano le radici. Inoltre, i raggi solari che entrano in acqua sono influenzati da più variabili: gli organismi non solo devono resistere ai giorni nuvolosi, ma anche all'acqua torbida, poiché possono essere facilmente bloccati, per esempio, da microparticelle sospese in mare (vedi pagina 41).

Un altro problema riguarda l'anidride carbonica, poiché una pianta all'asciutto può tranquillamente assorbirla attraverso radici e pori, ma una subacquea se la deve vedere con una concentrazione di CO_2 più bassa; inoltre, questo gas si muove più lentamente in un mezzo come l'acqua. Per compensare queste difficoltà, le piante sommerse hanno pori molto più efficienti, capaci di far passare più anidride.

Infine, resta la difficoltà di vivere in un ambiente salato: più acqua la pianta incamera, più sale è in circolo nell'organismo e in questo modo rischia di disidratarsi facilmente, per effetto dell'osmosi (vedi pagina 104). Un modo per risolvere la questione è avere processi metabolici che liberino molto rapidamente l'organismo del sale in eccesso.

COSA SUCCEDE QUANDO ANDIAMO SOTT'ACQUA

La bellezza del mare si apprezza ancora di più se vista sott'acqua. Chi ha avuto la fortuna di andare in vacanza in un paradiso tropicale, o in alcune spettacolari località italiane, non avrà perso l'occasione di fare *snorkeling*, nuotando a pelo d'acqua con maschera e boccaglio per ammirare barriere coralline e coloratissimi pesci; o addirittura di immergersi ancora più in profondità, armato di bombole e tuta, per capire cosa si provi ad essere circondati dalla vita marina (nonostante le nostre percezioni siano molto diverse sott'acqua; vedi pagina 39). Cosa accade al nostro corpo quando scivoliamo sotto la superficie del mare?

IMMERGERSI TRATTENENDO IL FIATO

Ci abbiamo provato tutti. Si tira una boccata d'aria e via con la testa sott'acqua, mettendo alla prova la nostra capacità di trattenere il fiato; oppure verso il fondale, provando a vedere quanto si riesca a scendere. Inutile sperare in risultati incredibili: stando immobile, una persona normale può evitare di respirare per circa uno-due minuti, niente a che vedere con il record mondiale, battuto l'ultima volta in Francia nel 2009. Il vincitore, Stéphane Mifsud, è riuscito a resistere senza ossigeno per undici minuti e trentacinque secondi. Un altro discorso vale per l'apnea dinamica classica, che prevede discesa e risalita senza pinne o altri ausili. In questo caso il record di profondità di 101 metri è stato stabilito nel 2010 dal neozelandese William Trubridge alle Bahamas.

Quando scendiamo sott’acqua, il nostro corpo va incontro a diversi cambiamenti, cercando di risparmiare l’ossigeno. Si tratta del *riflesso di immersione*, un insieme di reazioni automatiche che hanno tutti i mammiferi quando il volto viene sommerso. Anzitutto il cuore inizia a ridurre il proprio battito cardiaco (*brachicardia*), così da consumare meno ossigeno; in seguito, avviene la *vasocostrizione periferica*, cioè i vasi sanguigni alle estremità si riducono in volume, facendo passare meno sangue e favorendo invece organi come cuore e cervello; e infine, c’è il cosiddetto *blood shift*, uno spostamento del sangue verso la cassa toracica, per rendere i polmoni meno comprimibili.

Sono modi con cui l’organismo non solo fa i conti con il blocco della respirazione, ma anche con il brusco calo della temperatura. L’acqua, infatti, è un mezzo che conduce il calore più facilmente dell’aria. Questa invece ha maggiori capacità isolanti, per cui una volta immersi ci ritroviamo a raffreddarci con rapidità.

Un altro problema riguarda la pressione. A livello del mare siamo sottoposti al peso di tutta l’aria che è sopra la nostra testa (per un totale di 1 atmosfera; vedi pagina 168), ma scendendo al di sotto ci troveremo sovrastati anche dal peso della colonna d’acqua. Visto che quest’ultima è molto più densa dell’aria, si stima che ogni 10 metri verso il fondale, si debba contare un aumento di circa 1 atmosfera. Se scendiamo a 20 metri, quindi, saremo sottoposti a una pressione di circa 3 atmosfere, il triplo rispetto alla superficie. Questa forza si esercita uniformemente su tutto il nostro corpo e potrebbe spingere sui nostri polmoni al punto tale da svuotarli completamente d’aria. Per fortuna, grazie al riflesso d’immersione, il sangue – poco comprimibile come tutti i liquidi – corre verso la gabbia toracica e ne aumenta la resistenza.

Nel momento in cui si smette di respirare, la concentrazione di ossigeno nell’organismo diminuisce nel tempo, e solo l’allenamento può aumentare la capacità di trattenerne nei polmoni una maggiore quantità.

PERCHÉ SOTT’ACQUA SI TAPPANO LE ORECCHIE

Immergendoci, spesso ci si otturano le orecchie e la causa è sempre la pressione. Alla fine del canale uditivo si trova il timpano, la membrana

elastica che ci consente di ascoltare i suoni e che separa dall'esterno una piccola sacca d'aria. Quando scendiamo in profondità, la pressione esercitata sul timpano dall'ambiente diventa maggiore rispetto a quella dell'aria all'interno e la membrana non può fare altro che tendersi. Da questo deriva il fastidio che sentiamo. Per fortuna c'è un modo semplice per risolvere il problema, basta far sì che l'aria all'interno e all'esterno abbia la stessa pressione. Come? Ricorrendo alle *trombe di Eustachio*. L'orecchio medio, infatti, è collegato alla gola da un canale che possiamo aprire e chiudere facilmente deglutendo o sbadigliando, oppure chiudendo la bocca e il naso con le dita e poi soffiando con delicatezza (facendo attenzione, perché altrimenti si rischia di rompere il timpano!). In questo modo compensiamo la pressione con altra aria, che passerà dalle trombe di Eustachio, e la membrana tornerà normale. Lo stesso trucco si può usare quando ci si tappano le orecchie in aereo o in montagna: è ancora la pressione che agisce sul nostro corpo.

IN PROFONDITÀ CON LE BOMBOLE

Vi sono appassionati che preferiscono spingersi verso i fondali marini con un'attrezzatura di tutto riguardo: bombole per l'ossigeno, maschera per vedere meglio, tuta isolante per resistere al freddo e pesi per mantenere sotto controllo il galleggiamento. Per immergersi, però, ci vuole un addestramento, poiché il mondo subacqueo, infatti, può giocare brutti scherzi a qualcuno che non sia preparato a sufficienza. Il punto chiave riguarda la pressione che sosteniamo quando andiamo in profondità e l'effetto che ha sui gas che si trovano nel nostro corpo.

L'aria che respiriamo tutti i giorni, infatti, non è composta soltanto di ossigeno, che anzi corrisponde solo a circa il 21 per cento della miscela di quei gas che formano l'atmosfera, là dove il primo posto spetta all'azoto (N_2), con il 78 per cento, mentre il terzo se lo aggiudica l'argon (Ar) con l'1 per cento. Quando respiriamo l'aria, il nostro corpo assorbe l'ossigeno grazie ai polmoni, ma dissolve nel sangue anche altri gas che non hanno alcuna funzione, per cui con ogni respiro alcune molecole di N_2 sono sciolte e mandate in circolo nei tessuti, mentre altre fanno il percorso opposto, riacquistando nei polmoni la forma gassosa per essere poi espirate via. Lo stesso succede quando usiamo una bombola. Quelle più comuni, infatti, contengono una miscela

chiamata *Nitrox*, che rispecchia la proporzione di azoto e ossigeno nell'atmosfera terrestre, anche se in alcuni casi viene arricchita di ossigeno.

Qui entra in gioco la legge di Henry, scoperta nel 1803: un gas che esercita una pressione sulla superficie di un liquido vi entra in soluzione finché in quel liquido avrà raggiunto la stessa pressione che esercita sopra di esso. In sostanza, maggiore pressione significa più gas disciolto, e viceversa. Questo vale anche per le miscele di gas, che ne subiscono gli effetti come se fossero da soli e, quindi, anche per il Nitrox che si respira facendo sub, visto che il gas viene erogato alla pressione dell'ambiente sottomarino in cui ci si trova (vedi box *Come fa un sub a respirare*).

QUANDO SI SCENDE

Nel momento in cui si scende in profondità, l'azoto si diluirà maggiormente nel sangue a causa della pressione e gli effetti sul nostro cervello non tarderanno a farsi sentire. Questa situazione viene chiamata *narcosi da azoto* e le conseguenze sul nostro organismo sono simili a quelle provocate dagli alcolici: ebbrezza, confusione, reazioni rallentate, falsa sicurezza.

Ai futuri sub questa narcosi viene spiegata con la "legge del Martini": passati i 20 metri di profondità, è come se bevessimo un bicchiere di Martini ogni 10 metri percorsi in verticale. L'ubriacatura, tipicamente, è avvertita quando si superano 4 atmosfere (oltre 30 metri).

Il pericolo, in questo caso, è dovuto a una capacità di giudizio offuscata, che può portare a prendere decisioni rischiose in un ambiente difficile come quello sottomarino. L'unica soluzione al problema è risalire di qualche metro: la pressione più bassa, infatti, riduce la concentrazione di azoto nel sangue e nel giro di qualche minuto il gas sarà espirato via.

Un altro rischio che si corre scendendo molto in profondità è che l'ossigeno disciolto sia fin troppo concentrato nell'organismo. L'O_2 in quantità eccessiva e per intervalli prolungati nell'organismo, infatti, è tossico, motivo per cui su ogni bombola è indicata la profondità massima raggiungibile, chiaramente dipendente dalla quantità (e quindi dalla pressione) di ossigeno nella miscela.

Con una concentrazione di ossigeno al 21 per cento (e pressione massima a 1,6 bar), per esempio, si può arrivare intorno ai 66 metri, mentre con il 32 per cento la profondità si riduce a 40 metri. In entrambi i casi si deve limitare l'esposizione per un massimo di quarantacinque minuti. Per tenere sotto controllo tempi e profondità e per gestire la decompressione spesso si usano computer subacquei da polso.

QUANDO SI SALE

Dopo una bella immersione, è giunto il momento di risalire verso la superficie e anche in questo caso si devono prendere alcune precauzioni. Nel momento in cui diminuiscono profondità e pressione, i gas disciolti nei nostri tessuti inizieranno a tornare alla fase gassosa, per poi essere espulsi con l'espirazione. Più a fondo si sarà andati, più azoto sarà presente nel nostro corpo e un maggiore numero di molecole di N_2 si trasformerà in gas durante la risalita. Se questa sarà lenta, non vi sarà alcun problema, ma se sarà troppo veloce e senza pause, potrebbero formarsi bolle di azoto nel circolo sanguigno e nei tessuti.

Le conseguenze della *malattia da decompressione* variano a seconda del tessuto colpito e distrutto, e possono essere da lievi a molto gravi: si va dal formicolio cutaneo al dolore osteoarticolare, fino ad arrivare a danni polmonari e cerebrali. Per questo chi si immerge controlla scrupolosamente le *tabelle di decompressione* per guidare la propria risalita: queste indicano quanto tempo bisogna impiegare per risalire in superficie e quanto lunghe devono essere le pause a determinate profondità. Il tutto, chiaramente, dipende dalle atmosfere cui si è scesi e dalla durata dell'immersione.

MAI TRATTENERE IL RESPIRO

Gli apprendisti sub lo imparano presto: quando ci si immerge con bombole e respiratore, non si deve mai smettere di respirare, ma continuare a inspirare ed espirare aria dai polmoni. Perché? È presto detto, nel momento in cui si trattiene il respiro e si torna verso la superficie, la pressione diminuisce e l'aria nei nostri polmoni aumenta di volume. Se stiamo respirando, non c'è alcun

problema, perché i gas hanno una via d'uscita e la miscela che inspiriamo è alla stessa pressione dell'ambiente. Se tratteniamo il respiro, invece, blocchiamo questo meccanismo e l'espansione violenta dell'aria nei nostri polmoni può danneggiarli seriamente o immettere nel circolo sanguigno bolle di gas.

Che cosa cambia rispetto all'apnea? Basta un esempio. Supponiamo che un apneista scenda fino a una profondità in cui i suoi polmoni siano compressi a un quarto del normale: risalendo, questi torneranno al volume originario, senza grandi variazioni.

Se, invece, un sub risale dalla stessa profondità trattenendo il respiro, i suoi polmoni si espanderanno per bilanciare la riduzione di pressione, andando oltre il loro volume normale e causando danni ai tessuti.

COME FA UN SUB A RESPIRARE

Si può dire che il moderno subacqueo nacque nel 1943, quando Jacques-Yves Cousteau ed Émile Gagnan inventarono lo *Scuba* (*Self-contained Underwater Breathing Apparatus*, o apparato di respirazione subacqueo autonomo), la prima attrezzatura che rendeva semplice immergersi nelle profondità marine.

Una delle componenti principali del set per il perfetto *scuba diver* è l'erogatore. La sua funzione principale è fornire aria che sia uguale alla pressione ambientale e per poterlo fare l'erogatore è dotato di due sistemi diversi. Il primo stadio, agganciato direttamente alla bombola grazie a due camere e una valvola a diaframma a contatto con l'acqua esterna, riduce l'alta pressione della miscela a un valore intermedio.

Quest'aria viene poi passata con un tubo a un secondo stadio, che si trova davanti alla bocca del sub ed è composto da un'unica camera con un altro diaframma a contatto con l'acqua.

Quando inspira, il subacqueo vi attira l'aria del primo stadio, facendo scendere ancora di più la pressione dell'aria, fino ad essere uguale a quella esterna e in questo modo può liberamente respirarla. Nel momento in cui espira, invece, una valvola fa semplicemente uscire l'anidride carbonica.

PERCHÉ SOFFRIAMO DI MAL DI MARE

È tutta una questione di movimento. Il mal di mare, infatti, è parente stretto di stati di malessere come il mal d'auto o il mal d'aria, dovuti al fatto che il nostro corpo da un lato sente di muoversi, mentre dall'altro ha l'impressione di stare fermo. Iniziamo dal principio: nessuno sa con certezza cosa accada al nostro corpo quando andiamo in barca e perché alcuni siano colti dalla nausea.

L'ipotesi più consolidata, però, riguarda una dissonanza tra ciò che vedono i nostri occhi e ciò che sente il nostro orecchio. Nell'orecchio interno esiste un organello chiamato *coclea*, deputato a controllare la posizione della nostra testa. Quando ci muoviamo, insieme a noi si sposta anche il liquido presente nei suoi tre canali semicircolari che, disposti nelle tre direzioni dello spazio, sono in grado di percepire se ci muoviamo avanti o indietro, verso l'alto o il basso e a destra o a sinistra.

Queste informazioni sono trasmesse al cervello e integrate con altre provenienti dai nostri muscoli e dalla vista, permettendoci così di stare in equilibrio.

Nel momento in cui siamo su una nave, magari al chiuso e sottocoperta, il nostro cervello riceve informazioni discordanti: mentre l'orecchio sente che ci stiamo muovendo, l'occhio vede un ambiente fermo. Ecco che scatta l'allarme: per il cervello si tratta di una situazione impossibile e arrivano nausea e vomito. Come evitare di stare male andando in barca, quindi? Anzitutto, sarà meglio viaggiare su barche di grandi dimensioni, su cui gli spostamenti si percepiscono poco e, in particolare, è consigliabile scegliere una cabina verso il centro della nave: è il punto in cui ci si muove di meno.

Se iniziate a sentire montare la nausea, andate sul ponte e fissate l'orizzonte, un'azione che dovrebbe migliorare l'orientamento e "rassicurare" il vostro cervello. Inoltre, mangiare leggero prima di imbarcarsi o durante il viaggio rende meno sgradevoli le conseguenze del mal di mare, non solo per voi, ma anche per chi vi sta accanto.

COME SI FORMANO LE SPIAGGE

Non esiste sensazione più rilassante di quella di infilare i piedi nella sabbia tiepida. Sentire i granelli che scivolano tra le dita dona calma e serenità. Basta pensare a quanta pazienza è stata necessaria agli agenti atmosferici per renderla così come la vediamo: sottile, impalpabile e dorata. Da dove viene la sabbia? Perché ha quel colore? E per quale motivo la spiaggia si è formata proprio lì?

LA NASCITA DI UNA SPIAGGIA

In fondo, una spiaggia è una discarica. Attenzione, però, perché si tratta di una discarica naturale, dove vanno ad accumularsi tutti i detriti causati dall'erosione dei materiali terrestri. Un processo, questo, che può durare svariate migliaia di anni. Per esempio, le pietre sottoposte all'azione di vento, sole, gelo e acqua sono lentamente sgretolate e trasportate dai fiumi verso il mare; il movimento delle onde, poi, deposita i sedimenti lungo la costa, dove si accumulano fino a formare una spiaggia.

Gli ingredienti per formare una spiaggia sono abbastanza semplici. Anzitutto, ci vuole una bella scorta di sedimenti, che siano sabbia, ciottoli o gusci di conchiglia; in secondo luogo, l'energia delle onde che li trasportano; e infine, un livello del mare (o di un lago) che sia stabile per un certo periodo: questi tre elementi determinano dove si formerà una spiaggia e di che forma sarà. Indispensabile, chiaramente, è anche un luogo preciso che sia in grado di trattenere i sedimenti. L'equilibrio tra sabbia, livello del mare e onde è dinamico: quando uno di questi elementi

cambia, tutti gli altri si modificano di conseguenza e il profilo della spiaggia assume una diversa configurazione.

Ma quando sono nate le spiagge così come le conosciamo adesso? È tutto dipeso dal livello del mare nel corso dei millenni. Negli ultimi due milioni di anni, infatti, gli oceani hanno fatto su e giù come uno yo-yo e solo qualche migliaio di anni fa il loro livello è diventato più o meno stabile. Da quel momento, la posizione delle spiagge è rimasta abbastanza costante e, se il livello del mare non si fosse alzato fino alla quota attuale, le spiagge non sarebbero dove sono ora.

È un ciclo molto semplice: quando il pianeta affronta un'era glaciale, i ghiacciai aumentano di dimensioni, i fiumi si riducono e il livello del mare si abbassa. Al contrario, con il riscaldamento della Terra, i ghiacci si sciolgono, i fiumi sono più ricchi di acqua e gli oceani si innalzano. Durante questo processo, le spiagge si spostano di conseguenza e, come abbiamo visto, i fiumi sono fondamentali nel trasportare i detriti verso il mare. Quando il livello degli oceani è basso, alla foce dei fiumi aumenta il processo di erosione, perché è come se il corso d'acqua restasse sospeso all'improvviso e dovesse liberarsi la strada verso il mare, trascinando con sé nuovi sedimenti. Quando il livello aumenta e i fiumi sono abbondanti, invece, l'acqua porta verso la foce tutti i detriti che ne bloccano il corso.

Dopo l'ultima glaciazione, il cui gelo iniziò a recedere circa diciottomila anni fa, il livello del mare è aumentato velocemente, alimentato dai ghiacciai in scioglimento. Le spiagge che esistevano a quel tempo sono state sommerse, trasportando i sedimenti verso l'entroterra. Quando gli oceani smisero di crescere, le acque nel frattempo avevano riempito valli e creato estuari, affollando di detriti le rientranze delle coste e le valli più piccole: ecco come sono nate le nostre spiagge.

SPIAGGE DI TANTI COLORI

I detriti, però, non sono tutti uguali: ogni spiaggia è unica nel suo genere. La sua composizione, infatti, dipende dal tipo di materiale di cui è fatta: l'origine dei sedimenti che arrivano sulla costa può essere molto diversa e le stesse rocce che vengono erose nel tempo possono avere differenti caratteristiche e colori.

Allora, perché di solito le spiagge di sabbia sono di colore marrone chiaro? Perché la maggior parte è formata da miliardi di granelli di quarzo. Il quarzo (diossido di silicio, SiO_2) è un minerale di colore chiaro o addirittura trasparente, molto comune nelle rocce granitiche e così resistente da non essere intaccato da agenti fisico-chimici e da riuscire quindi ad arrivare quasi indisturbato sui nostri lidi, a differenza dei feldspati, il più abbondante gruppo di minerali presenti nella crosta terrestre, che invece si distruggono facilmente e sono presenti solo in basse percentuali nelle spiagge.

Nonostante il quarzo sia il minerale più comune della sabbia, in ogni caso però non tutte le spiagge hanno lo stesso colore, poiché le sue sfumature dipendono dalla sua età: quello più vecchio, infatti, ha avuto più tempo per liberarsi di tutti i residui ed esporre il suo cuore più puro (e chiaro), mentre il quarzo giovane è stato separato dalla roccia di partenza da poco e ha ancora delle tracce più scure. C'è anche un'altra ragione: finora, infatti, abbiamo parlato solamente di *sedimenti terrigeni*, ovvero di quei detriti che provengono dall'erosione delle rocce, ma esistono anche altri tipi di residui che possono accumularsi sulla riva del mare.

Vi siete mai chiesti, per esempio, perché alcune spiagge abbiano la sabbia nera? Nella maggior parte dei casi si tratta di minerali chiamati *pesanti*, in quanto hanno una densità maggiore di quella del quarzo, come per esempio ilmenite, magnetite e in alcuni casi addirittura zircone, diamante e oro. A causa del loro peso, questi possono accumularsi negli strati inferiori della sabbia, creando dei veri e propri filoni. Alcune volte, dopo una tempesta, è possibile trovarli ben visibili sulla spiaggia in mezzo a sabbia più chiara. Provate a prendere un pugno di sedimenti più chiari e uno di quelli più scuri: nonostante i primi siano più grossolani, vi renderete conto che sono più leggeri.

La sabbia scura, però, soprattutto se si è vicini a un vulcano, può anche essere di origine magmatica. In questi casi la lava che arriva in acqua si raffredda improvvisamente e si spacca in frammenti di varie dimensioni, oppure può succedere che una roccia vulcanica ormai solidificata, sottoposta all'erosione, disperda i propri sedimenti. È ciò che accade in alcune spiagge delle Eolie, in Sicilia, o delle Hawaii.

Altri detriti, infine, possono essere molto chiari e avere un’origine organica e creare spiagge formate da ciò che resta di conchiglie e coralli. Alcuni animali marini, infatti, sono in grado di produrre carbonato di calcio (vedi pagina 94), un materiale molto resistente che sopravvive all’organismo e resta sul fondale, pronto per essere trasportato a riva, dopo essere stato frammentato. Le spiagge vicino alle barriere coralline sono il perfetto bacino di raccolta per questi sedimenti, che alcune volte arrivano ancora appuntiti e taglienti sulla battigia.

DALLA SABBIA ALL’ARGILLA, PASSANDO PER I CIOTTOLI

Non tutte le spiagge sono fatte di sabbia, ne esistono anche di scogli o di ciottoli e la dimensione dei sedimenti (la loro *granulometria*) è molto importante per capire quanto questi siano vecchi: più sono fini, maggiore sarà stato il tempo trascorso in balia degli agenti atmosferici. Esiste una vera e propria classificazione per definire i frammenti provenienti da una roccia, la scala *Udden Wentworth* (vedi tabella 1).

Se il loro diametro medio supera i 25 centimetri parliamo di *massi*, al di sotto e fino ai 4 millimetri si chiamano *ciottoli* (o *ghiaia*), tra 1 e 0,06 millimetri siamo di fronte alla *sabbia*, mentre al di sotto di questo valore si parla di *fanghi*, come *silt* (sedimenti sciolti) e argilla.

DIAMETRO DELLE PARTICELLE IN mm	DEFINIZIONE		
> 256	Masso	Boulder	RUDITE
128	Ciottolo molto grossolano	Cobble	
64	Ciottolo grossolano	Cobble	
32	Ciottolo medio-grossolano	Pebble	
16	Ciottolo medio	Pebble	
8	Ciottolo medio-fine	Pebble	
4	Ciottolo fine	Pebble	
2	Granulo	Granule	ARENITE
1	Sabbia molto grossolana	Very coarse sand	
1/2	Sabbia grossolana	Coarse sand	
1/4	Sabbia media	Medium sand	
1/8	Sabbia fine	Fine sand	
1/16	Sabbia molto fine	Very fine sand	
1/32	Silt grossolano	Coarse silt	PELITE
1/64	Silt medio	Medium silt	
1/256	Silt molto fine	Very fine silt	
< 1/256	Argilla	Clay	

TABELLA 1 - LA SCALA UDDEN WENTWORTH PER LA GRANULOMETRIA

A seconda della percentuale in cui saranno presenti ghiaia, sabbia e fango, la spiaggia ha una sua denominazione precisa, che ne determina le caratteristiche, ma per chi non è un geologo di professione, meglio fare riferimento a categorie più semplici. Ecco le principali.

- *Spiagge sabbiose* Sono le più conosciute. La sabbia di cui sono costituite proviene principalmente da grandi fiumi, ghiacciai e scogli erosi, oppure può essere trasportata da lontano, grazie alla corrente di deriva (vedi pagina 47). La

sabbia si deposita sulla spiaggia, accumulandosi lentamente sulla piattaforma continentale.

- *Spiagge ghiaiose* Sebbene possano essere molto scomode per i turisti, anche gli ambienti costieri in cui ci sono sassi, ciottoli e pietrisco sono considerati spiagge. Visto che la ghiaia è pesante, generalmente non viene trasportata molto distante dal punto di origine, per cui di solito questo tipo di spiagge ospita materiali locali.
- *Spiagge fangose* Sono formate da sedimenti molto fini, come silt e argilla, che provengono dall'erosione di materiali rocciosi morbidi trasportati dai grandi fiumi fino al mare. Si trovano in litorali caratterizzati da climi caldi e umidi (il 75 per cento delle spiagge tropicali è fangoso) e si accumulano generalmente nei fondali profondi. A causa dell'odore che si diffonde nelle loro vicinanze, dovuto a materia organica intrappolata nei fanghi, non sono tra le preferite dai turisti.

COME È FATTA UNA SPIAGGIA

Dove inizia una spiaggia? Guardandola di sfuggita, non penseremmo mai che in realtà comincia in mare aperto, dove le onde sono influenzate dal fondale, a una distanza variabile, più vicina alla costa quando le onde sono piccole, più lontana se sono grandi.

Il confine di una spiaggia naturale, invece, si trova verso l'entroterra, dove iniziano le dune. Sono questi i due punti di riferimento da cui parte la morfologia di una spiaggia, lo studio della sua forma. Partiamo dalle basi, con quello che viene chiamato il *profilo* di una spiaggia (vedi figura 1) e le sue parti principali.

- *Spiaggia sommersa* È la zona in cui le onde iniziano a "sentire" il fondale e a rallentare. Qui viene depositata la sabbia che arriva dal largo durante le tempeste: un'ottima riserva per la spiaggia, dove può essere trasportata dalle onde di piccole dimensioni.
- *Zona del surf* Nel mondo anglosassone esiste un'area che viene chiamata *surf zone*: è qui che c'è il vero movimento e troverete i surfisti. Questa inizia quando le onde cominciano a rompersi e termina sulla battigia: liberando la loro energia, i

frangenti formano correnti e mescolano il fondale. In quest'area si possono trovare sia banchi di sabbia sia solchi in cui scorrono le correnti (vedi pagina 47).

- *Spiaggia intertidale* Si tratta di un'area di spiaggia compresa tra l'altezza media raggiunta dal mare in alta e in bassa marea, ossia quel tratto che viene sommerso almeno una volta al giorno dall'acqua e dove le onde terminano la loro corsa. Anche in questo caso si possono formare banchi e solchi.
- *Spiaggia emersa* È la zona che conosciamo meglio, che parte dalla battigia e arriva alle dune. Qui possiamo trovare le *creste delle berme di tempesta*, gradini che interrompono la continuità della spiaggia e che sono causati dalle grandi mareggiate. Il gradino meno pronunciato e indistinto, che si trova più verso la riva, si chiama invece *cresta della berma ordinaria* ed è modellato dalle onde normali (per erosione e accumulo): da questa cresta la spiaggia continua in discesa verso la battigia.

LE REGOLE D'ORO DI UNA SPIAGGIA

Come abbiamo detto, una spiaggia è un deposito di sedimenti in equilibrio dinamico con onde e livello del mare. Secondo Rob Brander, scienziato e surfista australiano, questo sistema obbedisce a tre semplici regole. Ricordandole, riuscirete a spiegare molti dei fenomeni che avvengono su una spiaggia, oltre a lasciare a bocca aperta i vostri increduli amici.

- *Le onde mescolano la sabbia che le correnti portano via* Se non ci fossero le onde e il vento, la sabbia resterebbe tranquillamente dov'è. Quando, però, le onde si rompono liberando energia, i granelli sul fondale si sollevano in nubi e restano sospesi in acqua e, se la sabbia in sospensione viene intercettata da una corrente sottomarina, sarà trasportata altrove.
- *Più è grossolano il sedimento, più ripida e stretta sarà la spiaggia* Sassi e ciottoli non galleggiano bene e l'energia necessaria per spostarli sarebbe considerevole, motivo per cui le spiagge di ghiaia sono composte per lo più da materiali locali che tendono ad accumularsi pian piano, formando una spiaggia ripida e stretta: i ciottoli non scivolano facilmente uno sull'altro. Se ne trovate una alquanto ampia formata da ghiaia, molto

probabilmente sarà artificiale. Al contrario, la sabbia viene trasportata senza difficoltà dalle correnti e dal vento, e di conseguenza, queste spiagge saranno generalmente piatte e ampie.

- *Le grandi onde trasportano la sabbia al largo, quelle piccole la riportano indietro* Quando c'è una tempesta, le grandi onde alzano dal fondale molta sabbia, che viene trascinata verso il mare aperto dalle correnti, mentre in condizioni più ordinarie le onde che ogni giorno fanno avanti e indietro sulla battigia restituiscono questa stessa sabbia lentamente alla spiaggia. La quantità di sabbia presente in una spiaggia, quindi, dipende dal numero di tempeste che ha subito e da quanto tempo è trascorso dall'ultima burrasca.

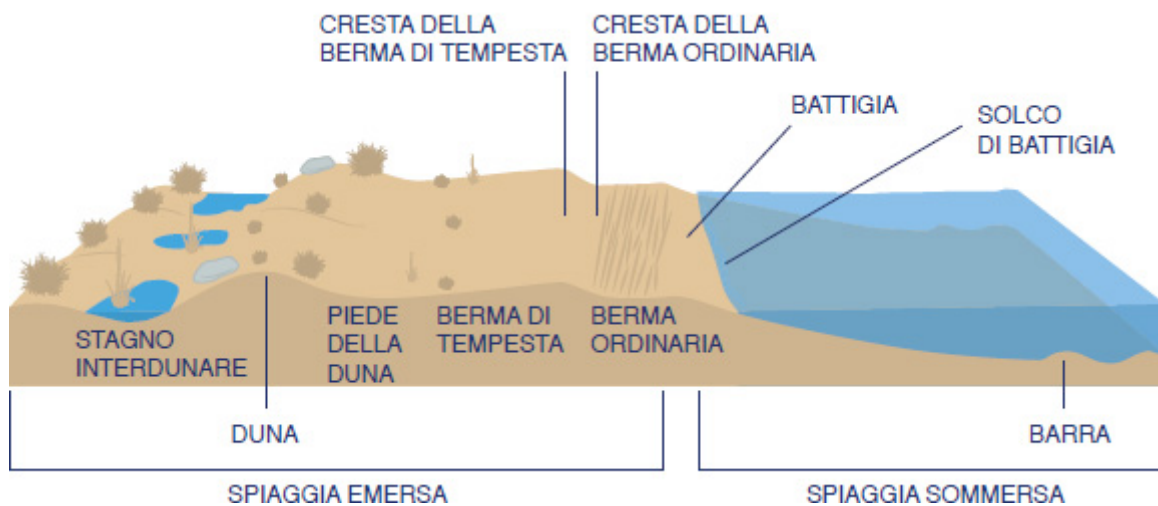



FIGURA 1 - IL PROFILO DI UNA SPIAGGIA

COME CAMBIA UNA SPIAGGIA

A seconda del proprio profilo, ogni spiaggia si comporta in modo diverso. In che senso una spiaggia possiede un "comportamento"?

Stiamo parlando di un sistema dinamico che ad ogni sollecitazione risponde modificandosi.

Per fortuna molte di queste reazioni sono prevedibili e ogni tipo di spiaggia si comporta in funzione della propria morfologia (vedi figura 2).

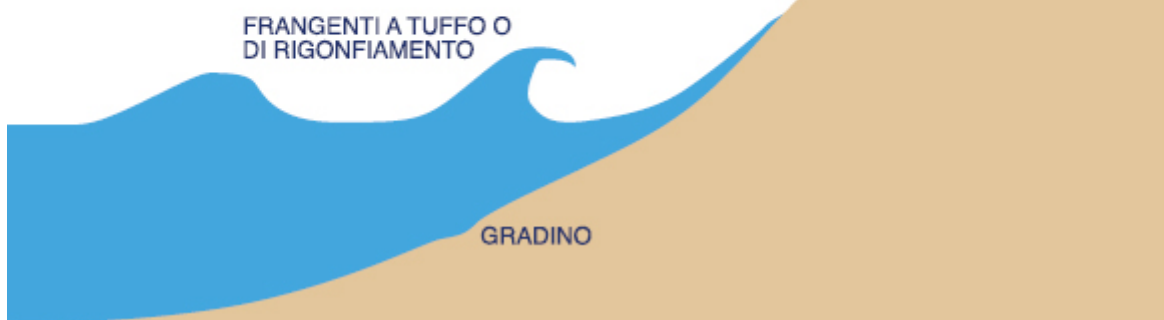



FIGURA 2 - TIPOLOGIE DI SPIAGGE

- *Le spiagge strette e ripide* Questo tipo di spiaggia può formarsi in tre condizioni. In primo luogo, se riceve quasi sempre onde di piccole dimensioni, per cui i granelli di sabbia a loro volta non ricevono abbastanza spinta per allontanarsi da dove si rompono le onde e vengono impilati l'uno sull'altro. Un altro caso è quando non c'è abbastanza sabbia a disposizione e la spiaggia si forma e smette di crescere, diventando ripida. Infine, lo abbiamo visto poco fa, ciò può capitare quando i sedimenti sono grossolani. Le spiagge strette e ripide si

chiamano *riflessive*. Il motivo? Nulla a che vedere con la meditazione. Hanno questo nome perché una parte dell'energia liberata dalla rottura delle onde viene riflessa – in pratica rimbalza – verso il mare aperto. Si riconoscono facilmente grazie alla presenza di cuspidi (piccoli rilievi lungo la battigia, a intervallo regolare, separati da depressioni concave verso il mare) e gradini molto pronunciati. Il loro profilo ripido provoca frangenti di rigonfiamento e a tuffo (vedi pagina 22), che possono essere pericolosi per i bagnanti.

- *Le spiagge ampie e piatte* Si tratta di spiagge che hanno sedimenti molto fini e/o onde di grandi dimensioni. Se la sabbia è molto sottile, infatti, il profilo tenderà ad essere dolce, mentre grazie a onde e correnti, i granelli saranno dispersi creando una zona del surf ampia e bassa. Queste spiagge vengono chiamate *dissipative*, perché le onde iniziano a rompersi al largo e disperdono la propria energia in un'area di grandi dimensioni. Se la zona del surf inizia verso il mare aperto ed è costellata da schiuma bianca, siete davanti a una spiaggia dissipativa, nella quale non sarà presente una corrente di risacca (vedi pagina 47), ma potreste trovare banchi di sabbia e solchi profondi, e le onde più comuni saranno i frangenti di scivolamento.
- *Le spiagge intermedie* Molte spiagge ricevono onde di media grandezza e sono formate da sedimenti né troppo fini, né troppo grossolani: una via di mezzo tra le riflessive e le dissipative. All'interno di questa categoria si trovano spiagge molto diverse tra loro, ma che solitamente possiedono tutte banchi di sabbia e correnti di risacca. In generale, hanno un ciclo di vita più o meno regolare e nomi che dipendono dalla forma dei banchi. Dopo una forte tempesta, come accade spesso in inverno, una grande quantità di sabbia sarà trasportata verso il largo, formando banchi lungo tutta la costa, separati dalla spiaggia da un ampio solco: questa sarà una *spiaggia intermedia con barra lungocosta*. Le onde, in questo caso, si romperanno due volte, una prima volta al largo quando incontrano il banco di sabbia, e una seconda volta verso la riva. Se le onde diminuiscono di grandezza, i banchi di sabbia iniziano a spostarsi verso la riva, incurvandosi e formando correnti di risacca, e in questo caso si ha una *spiaggia intermedia a forme ritmiche*. Quando le onde diventano ancora

più piccole, i banchi si fondono tra loro, creando barre trasversali separate da canali di risacca, e si forma quella che viene chiamata una *spiaggia intermedia a barre trasversali*. Infine, anche i canali vengono riempiti di sabbia, formando una *spiaggia intermedia a terrazzo*, con una serie di montagnole vicino alla riva. Quanto dura questo ciclo? Dipende tutto dal tipo di onde che insistono sulla spiaggia e dunque da quanto spesso si presentano delle tempeste: ci potrebbero volere addirittura alcune settimane o alcuni mesi, perché appena arriva una burrasca il ciclo ricomincia da capo.

Da questi meccanismi dipende la forma di una spiaggia d'estate e d'inverno. Nei mesi invernali, la vostra spiaggia preferita potrebbe essere irriconoscibile, per via delle forti onde che, portando la sabbia al largo, potrebbero averla ridotta a una striscia striminzita e, allora, saranno le dolci onde dei mesi estivi a ripopolarla di granelli, e di gente.

QUANDO UNA SPIAGGIA SI RITIRA

Le spiagge sono sistemi in continua evoluzione, cosa di cui ci rendiamo conto prima e dopo una tempesta, ma anche a distanza di mesi o anni. La spiaggia che magari conosciamo da una vita evolve e probabilmente si sta ritirando anche a causa dell'aumento del livello degli oceani (vedi box *Il destino delle spiagge con il cambiamento climatico*). Una trasformazione che è sempre più frequente con l'avanzata del mare e lo stesso processo che ha causato la formazione della spiaggia così come la conosciamo, infatti, la fa arretrare sempre più. Ciò che le onde e le tempeste tolgono, si deposita nuovamente, ma ci vuole tempo e, se non ci fossero gli esseri umani, questa lenta evoluzione non disturberebbe l'ecosistema della spiaggia. Peccato, invece, che le coste del pianeta siano popolate di edifici che ne bloccano l'arretramento e l'erosione diventa un problema, mettendo case e alberghi in pericolo.

Purtroppo è quasi impossibile fermare l'erosione di una spiaggia. Non si sarebbe dovuto costruire sin dall'inizio così vicini alla riva e la soluzione migliore sarebbe arrendersi, demolire gli edifici e ricostruirli altrove; tuttavia, una strategia simile è ovviamente molto costosa, per cui l'ingegneria costiera ha

sviluppato soluzioni di *stabilizzazione* chiamate *dure*, altre chiamate *morbide*, ma in entrambi i casi con un impatto ambientale.

Uno dei modi più semplici per trattenere la spiaggia dove si trova è costruire strutture solide e permanenti che arginino il ritiro. Si tratta di *paratie* e *muri di sponda*, eretti in parallelo rispetto al mare (vedi figura 3), che avrete visto in diverse spiagge italiane: sono muri di cemento e acciaio, oppure file di rocce, tronchi o sacchi di sabbia posti alle spalle o in prossimità della riva, che possono anche diventare un lungomare su cui correre o passeggiare. Peccato, però, che la spiaggia di fronte a questi argini sia destinata a scomparire, poiché questi proteggeranno gli edifici, ma il mare continuerà ad avanzare per quanto possibile e le onde porteranno lentamente via sabbia e ciottoli. È inevitabile: che ci vogliano decenni o pochi anni, diremo addio alla spiaggia. Un’altra soluzione è costruire dei *pennelli*, moli perpendicolari alla spiaggia, che sotto forma di paratie protese verso il mare, servono a catturare la sabbia trasportata dalla corrente di deriva (vedi pagina 47) per depositarla sulla spiaggia da salvare. In questo caso, il problema viene semplicemente spostato altrove: da un lato del pennello, infatti, la spiaggia cresce, mentre dall’altro l’erosione diventa maggiore e questo succede perché il flusso di sabbia che sarebbe arrivato alla spiaggia vicina è interrotto.

I *frangiflutti*, infine, sono un’altra opzione: si tratta di strutture costruite longitudinalmente rispetto alla spiaggia, come le paratie, ma poste in alto mare. Quando le onde arrivano dal largo, si scontrano con i frangiflutti liberando parte della loro energia e disperdendo la restante verso la spiaggia, che ne viene protetta. Anche in questo caso la corrente di deriva viene però bloccata, a discapito dell’erosione delle spiagge dove sarebbe arrivata la sabbia che trasporta questa corrente.

A queste strategie di stabilizzazione di tipo *duro* si sono affiancate nel tempo quelle chiamate *morbide*. La più conosciuta e comune è il *ripascimento*. Anche se il nome può sembrare strano, la soluzione che prevede è molto semplice. La sabbia di una spiaggia sta iniziando a scomparire? Per evitarlo basta portarne altra in grandi quantità, rimpinguando il bacino cui le onde attingono.

È davvero così facile? Più o meno. Esteticamente possono nascere spiagge bellissime, ma bisogna fare sempre molta

attenzione a preservare l’habitat esistente e la sabbia da usare dev’essere molto simile a quella già presente, sia in termini di composizione, sia in quelli di granularità.

Pescarla dal largo, quindi, può sembrare una buona idea, ma si rischiano altre conseguenze, poiché la sabbia in alto mare fa parte del bacino da cui “attingono” le onde per portare nuovi sedimenti a riva ed esaurire questo bacino così velocemente potrebbe sottoporre le spiagge vicine a un fenomeno di erosione ancora più forte. La vita di una spiaggia artificiale, inoltre, è molto variabile: potrebbe durare decenni o pochi giorni. Uno dei problemi principali del ripascimento, però, resta il costo, che rende questa soluzione molto difficile da attuare nei paesi in via di sviluppo. Basta un esempio.

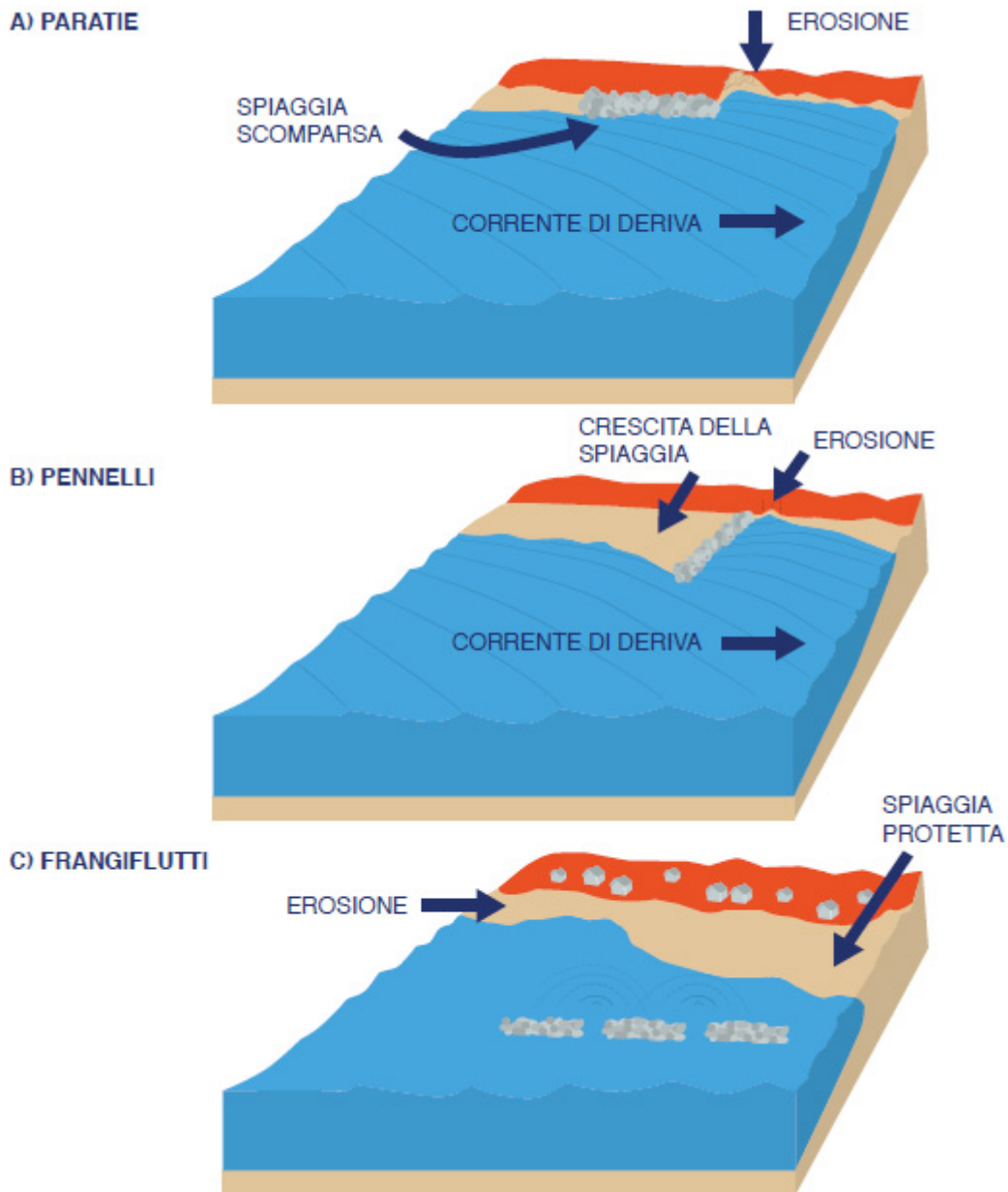



FIGURA 3 - COME PROTEGGERE UNA SPIAGGIA

La celebre spiaggia di Miami, negli Stati Uniti, è stata creata negli anni settanta con un lavoro di cinque anni e un esborso di 65 milioni di dollari, l'equivalente attuale di un miliardo di dollari (oltre 700 milioni di euro).

LE SPIAGGE PIÙ BELLE DEL MONDO

Dove si trovano le località marittime più belle? Per rispondere basta guardare la top 10 stilata dalla *Rough Guide*.

1 KO PHANGAN (THAILANDIA)

In quest'isola che si affaccia sul golfo del Siam si trovano spiagge di sabbia bianca finissima, affollate da palme di cocco e celebri per le sue feste in occasione della luna piena.

2 RAINBOW BEACH (QUEENSLAND, AUSTRALIA)

Questa spiaggia enorme deve il nome ai variegati colori delle sue dune: ilmenite, zircone e rutilio rendono, infatti, la sabbia marrone, nera, rossa, arancione e gialla.

3 KO PHI PHI DON (THAILANDIA)

Quest'isola quasi spaccata in due e unita da una sottile lingua di terra ospita spiagge bianchissime circondate da impressionanti scogliere.

4 AHAREN BEACH (ISOLA DI TOKASHIKI, GIAPPONE)

Questa spiaggia è bagnata da acque straordinariamente pulite e ricche di vita marina, con coralli, megattere, razze e tartarughe marine, oltre a eserciti di coloratissimi pesci tropicali.

5 PERHENTIAN KECIL (MALESIA)

Spiagge di corallo bianco e acque turchesi circondate da palme rendono quest'isola un paradiso per chi ama lo snorkeling e le immersioni.

6 PHRA NANG BEACH (THAILANDIA)

Questa spiaggia di fine sabbia bianca, che si può raggiungere esclusivamente con piccole imbarcazioni, è raccolta attorno a pareti rocciose scalate da persone appassionate di climbing.

7 CAYO LARGO (CUBA)

Acque chiarissime, basse e calde, bagnano le pallide spiagge calcaree di questa piccola isola nel Mar dei Caraibi in cui nessuno vive stabilmente.

8 PANTAI TANJUNG RHU (MALESIA)

Per arrivare alle sue acque cristalline e alla silenziosa spiaggia di corallo, basta attraversare una densa giungla.

9 TULUM (MESSICO)

Uno dei più caratteristici siti archeologici Maya fa da sfondo a questa spiaggia di finissima sabbia tipica della costa caraibica.

10 WHITEHAVEN BEACH (AUSTRALIA)

Questa spiaggia ha una sabbia così bianca da rendere necessari gli occhiali da sole, a causa dei raggi riflessi dai granelli di silice purissima.

LE SPIAGGE PIÙ BELLE D'ITALIA

E in Italia invece? Ecco le migliori cinque spiagge del 2014 secondo il sito di viaggio TripAdvisor:

- *Spiaggia dei conigli* (Lampedusa, Agrigento, Sicilia). Alcuni la considerano addirittura la spiaggia più bella del mondo con la sabbia bianca, un mare cristallino e dintorni incontaminati. Qui, ogni anno, le tartarughe *Caretta caretta* depositano le uova;
- *Cala Mariolu* (Baunei, Ogliastra, Sardegna). In sardo questa spiaggia è conosciuta anche come *Ispùligi de nie*, che vuol dire "è come pulci fatte di neve", un'espressione che si riferisce ai piccoli e bianchissimi sassolini di cui è fatta;
- *La Pelosa* (Stintino, Sassari, Sardegna). All'estremo nordoccidentale dell'isola, rivolta verso l'Asinara, questa spiaggia possiede una sabbia bianchissima e un mare da riflessi turchesi e fondale basso;
- *Cala Goloritzé* (Baunei, Ogliastra, Sardegna). Formata da piccoli ciottoli bianchi e sabbia, è nata da una frana ed è celebre per il pinnacolo di 143 metri che la sovrasta, ben conosciuto da chi si arrampica.
- *Baia del Silenzio* (Sestri Levante, Genova, Liguria). Una lingua di sabbia fine su cui si affacciano le case colorate della cittadina e le barche bianche ancorate ai gavitelli.

IL DESTINO DELLE SPIAGGE CON IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Gli scienziati che studiano il clima ne sono certi: la temperatura del pianeta si sta alzando e questo per colpa degli esseri umani che hanno riempito l'atmosfera di gas serra come l'anidride carbonica, provocando così lo scioglimento dei ghiacciai e l'innalzamento del livello del mare. Tra il 1901 e il 2012 gli oceani del mondo si sono innalzati di circa 19 centimetri, stando a quanto rivela l'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change, pubblicato nel settembre 2013, che fa anche delle previsioni sul futuro: tra il 2018 e il 2100, rispetto al ventennio 1986-2005, il livello del mare potrebbe innalzarsi da un minimo di 26 a un massimo di 98 centimetri, a seconda di diversi scenari. I ricercatori più pessimisti, invece, parlano di ben 2 metri, influenzando, secondo quanto è stato pubblicato su "Nature", le vite di centottantasette milioni di persone.

Le spiagge certamente non spariranno da un giorno all'altro, ma nell'arco di neanche un secolo cambieranno posizione e forma. Alcune isole come le Maldive, per esempio, cesseranno semplicemente di esistere. E in Italia? Nella nostra penisola sono a rischio sia la costa tirrenica che quella adriatica. Sul versante occidentale potremmo dire addio a molte spiagge che vanno dalla Versilia a Salerno e lo stesso vale per il golfo di Venezia e le località attorno al Gargano in Puglia; inoltre, sarebbero colpite anche le isole, con diversi tratti sommersi in Sardegna e la scomparsa delle saline nel trapanese.

COME SI FORMANO LE DUNE?

Mentre le spiagge sono il prodotto della sabbia trasportata dalle onde e che si accumula a riva, le dune sono strutture create dal vento, rivestono un ruolo importante e sono un ambiente molto sensibile, rappresentando infatti l'ultima protezione della costa nei confronti delle mareggiate. Ovviamente, non sono sempre presenti e la loro esistenza dipende dalla quantità di sabbia sulla spiaggia, dalla sua granulosità e infine dalla forza del vento. Ogni spiaggia ha la sua duna caratteristica: quelle riflessive di solito ne hanno di piccole e resistenti, mentre le dissipative spesso hanno come sfondo grandi dune che possono estendersi per chilometri. Nella loro formazione la vegetazione è fondamentale: alberi e arbusti rendono la duna meno fragile e più stabile.

DI VENTI E BREZZE

Ci ricorda la sua presenza quando, stesi su un morbido telo, veniamo colpiti da una folata carica di sabbia, o quando usciamo dall'acqua e battiamo i denti per il vento che ci arriva addosso. Perché l'aria si muove? E cosa sono la brezza di mare e quella di terra?

COME SI FORMA IL VENTO

Il segreto del vento è molto semplice: ovunque ci sia una differenza di pressione si forma una corrente. In particolare, l'aria fugge dalle aree di alta pressione verso quelle di bassa pressione e più grande sarà questa differenza, più forte sarà il vento risultante. È la legge del palloncino: quando lo gonfiamo, non facciamo che aumentare la pressione al suo interno, ma non appena possibile, l'aria uscirà verso l'esterno, in un soffio. Anche l'aria che ci circonda è sottoposta a una pressione, quella che chiamiamo *pressione atmosferica* e che in ogni punto del pianeta indica il peso della colonna d'aria che lo sovrasta. A livello del mare questa è massima e su un centimetro quadrato pesa in media un chilogrammo d'aria; in montagna, invece, la pressione si riduce, visto che, con l'aumentare dell'altitudine, la quantità di aria al di sopra delle nostre teste diminuisce.

La pressione atmosferica, però, non dipende solo dall'altitudine: l'aria che ci circonda, infatti, è una miscela di gas che reagisce ai cambiamenti di temperatura. Quanto si riscalda, l'aria si espande, diminuendo in densità e pressione; quando si raffredda, invece, si contrae diventando più densa e con maggiore pressione.

Ricordando il principio di Archimede (vedi pagina 28), possiamo indovinare che fine faccia l'aria più calda: essendo più leggera, tende a salire verso l'alto, mentre quella più fredda e densa scende verso la superficie. Questo è ciò che accade in una stanza con un calorifero acceso e una finestra chiusa sul lato opposto: l'aria sopra il termosifone, riscaldata, tenderà a salire verso il soffitto e sarà spinta in direzione della finestra dove, raffreddandosi, si sposterà sul pavimento, ricominciando il ciclo. Questi flussi d'aria sono chiamati *correnti convettive*.

PERCHÉ IL VENTO SI MISURA IN NODI

Un vento molto forte avrà una velocità di 30 nodi, una leggera brezza una di 5 nodi. Chi viaggia per mare ormai è abituato a questa particolare unità di misura, equivalente al miglio nautico (1852 metri) all'ora. La sua storia parte da lontano, quando nel Cinquecento si volle misurare la velocità di una nave e per farlo si ebbe un'idea tanto ingegnosa quanto semplice: bastava usare una corda sottile (in gergo, una *segola*) cui era attaccata una tavoletta di legno che facesse da ancora. La segola aveva un nodo ogni 15,4 metri. I marinai gettavano dalla poppa di un'imbarcazione questo strumento, chiamato *solcometro*, e contavano quanti nodi scorrevano tra le loro mani in un intervallo di trenta secondi, misurato con una clessidra. In questo modo si poteva facilmente misurare la velocità di navigazione. Ma perché 15,4 metri di distanza? Perché si tratta dello spazio che può percorrere una nave che viaggia per trenta secondi a un miglio nautico all'ora.

CHE BREZZA!

Durante le vacanze al mare spesso capita di notarlo: un debole vento che durante il giorno spira dal mare verso la terra, mentre nella notte soffia nella direzione opposta. Questa brezza, con una velocità che va dai 7 ai 20 chilometri orari, è sempre causata dalla pressione che, in questo caso, dipende dalle caratteristiche di terra e mare (vedi figura 4). L'acqua si riscalda e si raffredda più lentamente rispetto al terreno, per cui durante il giorno l'aria sopra il mare subisce ancora il freddo della notte, mentre quella sulla terraferma diventa in fretta più calda e leggera grazie ai raggi solari. Questa differenza di pressione causa la *brezza di mare*, un venticello che al mattino arriva dal largo verso

la costa. Al contrario, alla sera, la superficie del mare conserva ancora il calore accumulato durante la giornata, mentre il terreno lo cede più facilmente. Anche in questo caso, quindi, c'è un gradiente di pressione atmosferica per cui vi sarà aria meno densa sull'acqua e più pesante sulla terra e spirerà una *brezza di terra*, che dall'entroterra va verso il mare aperto.

Questo vento non si trova solo al mare. Ovunque ci siano ampi bacini chiusi d'acqua abbiamo la *brezza di lago* e lo stesso succede in montagna dove si avranno la *brezza di valle* e quella *di monte*. Il meccanismo è lo stesso, ma in quest'ultimo caso la differenza di pressione è tra le cime dei monti e le valli. Le vette, infatti, alla mattina sono riscaldate dal sole prima delle gole, mentre alla sera queste ultime tratterranno maggiore calore, pertanto al mattino la brezza va dalle valli ai monti, mentre in serata accade il contrario.

I VENTI NEL MONDO

La temperatura, come abbiamo visto, gioca un ruolo molto importante per l'aumento o la diminuzione della pressione atmosferica e quindi per la nascita di un vento. È facile indovinare il principale fattore da cui dipendono le differenze di pressione in diversi luoghi del pianeta: si tratta del sole. La circolazione atmosferica, infatti, si modifica in funzione dell'irraggiamento garantito dalla nostra stella. Il sole non riscalda in modo uniforme tutto il pianeta e la quantità di energia che attraversa l'atmosfera dipende non solo dalla stagione, ma anche dalla latitudine. L'angolo di incidenza della radiazione solare è l'aspetto chiave: più si avvicina ai 90 gradi, più questa è forte, infatti all'equatore i raggi solari arrivano perpendicolari alla superficie, ai tropici in modo obliquo e ai poli quasi paralleli. In questo modo avremo un'atmosfera più calda tra i tropici e più fredda tra i tropici e i poli.

A
B
B
BREZZA DI MARE
A
B
A
BREZZA DI TERRA
A
B

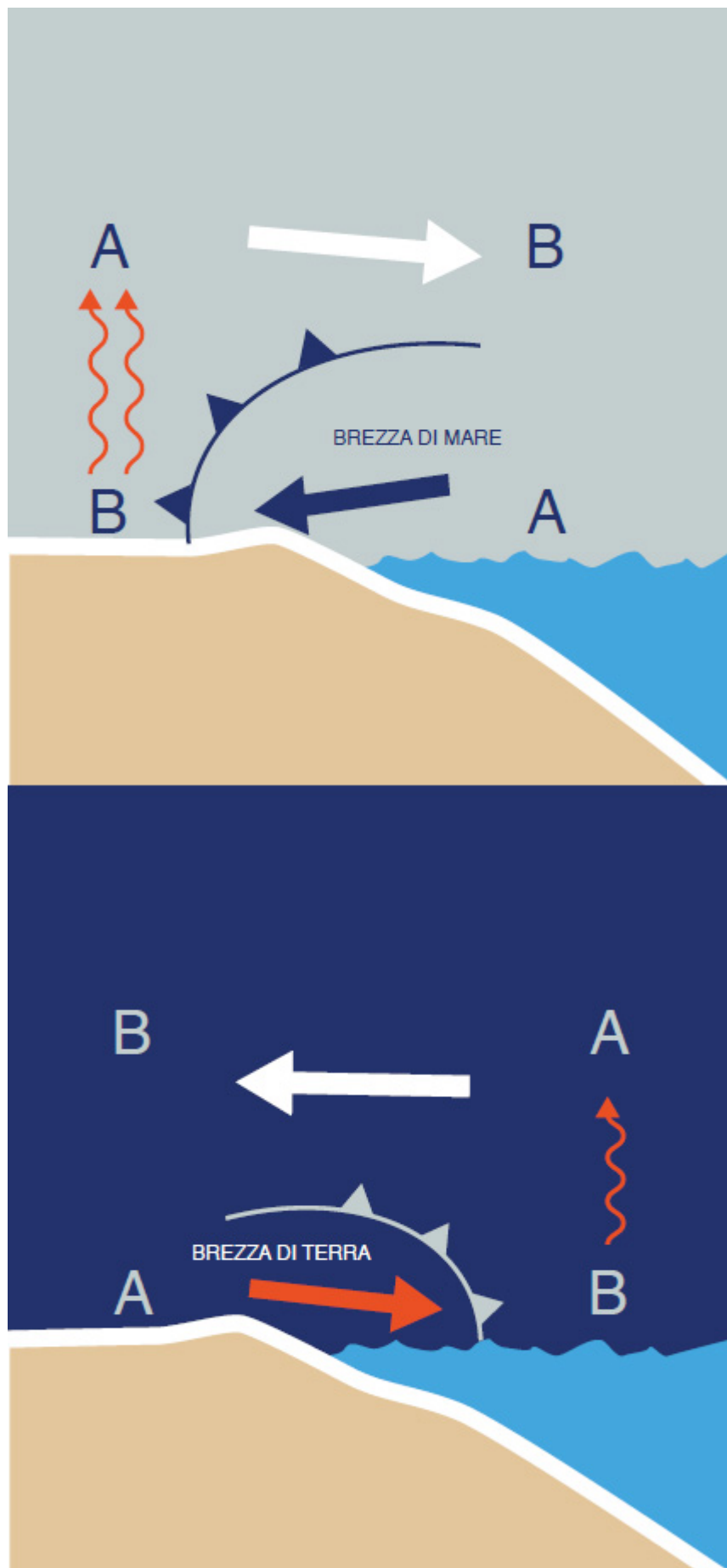



FIGURA 4 - LE BREZZE

Secondo quanto abbiamo raccontato sui venti, ci possiamo aspettare un costante flusso d'aria che vada dall'equatore ai poli e viceversa, come se si trattasse della stanza con il calorifero acceso alla quale abbiamo accennato prima. Dobbiamo, invece, considerare un altro aspetto: la Terra ruota su se stessa. Ogni corpo che si muove sul pianeta, infatti, subisce l'*effetto Coriolis* (vedi pagina 51). I venti che vanno dall'equatore al polo nord, quindi, sono sottoposti a una deviazione in senso orario, mentre quelli che scendono verso sud ne subiscono una in senso antiorario. Questa forza modifica i flussi globali di aria in movimento sul pianeta, creando sei ampie celle di circolazione media dei venti, tre in ogni emisfero (vedi figura 5).

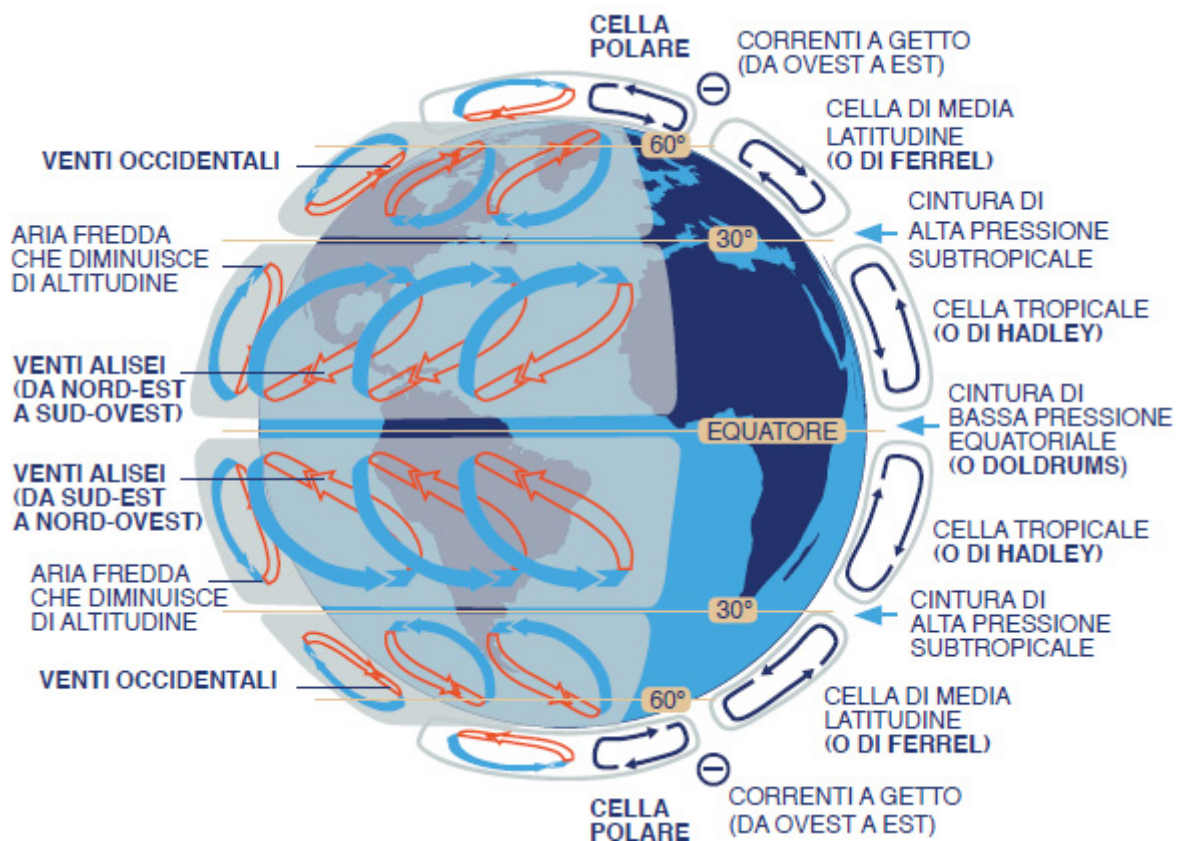



FIGURA 5 - CELLE DI CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA

Le *celle polari*, *tropicali* (o di Hadley) e di *media latitudine* (o di Ferrel) si comportano in maniera simile. Prendiamo, per esempio, la cella di Hadley: come se fossimo in una stanza chiusa, l'aria fredda si riscalda verso l'equatore, si innalza in atmosfera e tende

a viaggiare verso i tropici; poi, pian piano si raffredda, torna ad abbassarsi e viene spinta in direzione dell'equatore e qui ricomincia il ciclo.

È da questo modello che nascono i venti che spazzano con regolarità la nostra atmosfera. Ci sono gli *alisei*, generati nelle celle di media latitudine con direzione nord-est nell'emisfero boreale e sud-est in quello australe; oppure i *venti occidentali*, che spirano invece da sud-ovest (emisfero boreale) o nord-ovest (emisfero australe) nelle celle tropicali. I *venti orientali* delle celle polari, invece, vanno da nord-est verso sud-ovest nell'emisfero boreale e da sud-est verso nord-ovest nell'emisfero australe. E infine vi sono le *correnti a getto* (*jet streams*), che spazzano da ovest verso est nelle intersezioni tra celle polari e di Ferrel e tra queste ultime e le celle di Hadley.

LA ROSA DEI VENTI

È uno dei simboli più riconoscibili legati al mare ed è una stella, generalmente a otto punte, che indica la provenienza e il nome dei venti (vedi figura 6). Gli antichi greci furono i primi a donare nomi specifici ai venti che spiravano dai quattro punti cardinali, ma la rosa come la conosciamo oggi è nata nel Medioevo. Ma da dove arrivano questi nomi?

Anzitutto posizioniamoci nel cuore del Mediterraneo, al centro del mar Ionio e poco vicino all'isola di Malta, dove nelle mappe veniva disegnata la rosa dei venti. Da questa posizione possiamo indovinare i nomi del *grecale* che arriva dalla Grecia (a nord-est) e del *maestrale* che proviene dalla *magistra* Roma (a nord-ovest), oppure quello del *libeccio* che soffia dritto da sud-ovest e in particolare dalla Libia. Per il *levante* e il *ponente* è molto semplice: spirano rispettivamente da dove sorge (est) e tramonta (ovest) il sole. C'è poi il vento che viene da sud-est: lo *scirocco*, nome che deriva forse dall'arabo *shulhùq* ("che viene da Oriente") o, più semplicemente, dalla direzione della Siria. L'*ostro* (o *mezzogiorno*) prende, invece, il nome dal latino *auster* che indicava il meridione. E la *tramontana*? Si spiega sempre con il latino e deriva da *intra montes* ("tra le montagne"), poiché si tratta, infatti, di un vento freddo proveniente da nord.

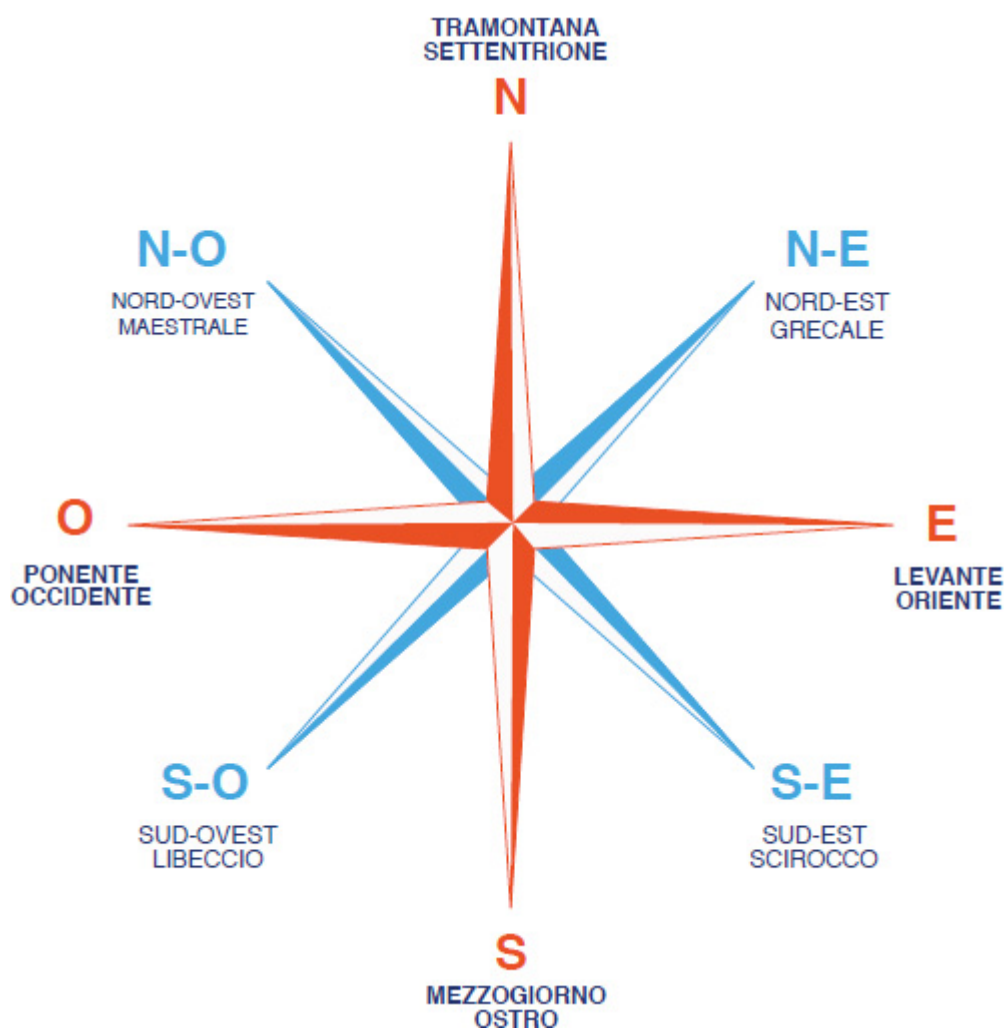



FIGURA 6 - LA ROSA DEI VENTI

RICONOSCERE LE NUVOLE

«Vanno / vengono / ogni tanto si fermano / e quando si fermano / sono nere come il corvo / sembra che ti guardano con malocchio». Sono *Le nuvole* narrate dal cantautore genovese Fabrizio De André.

Si potrebbero passare ore a guardarle, stesi su una spiaggia con un'ampia distesa di cielo sopra di noi. Di che cosa sono fatte? E quante forme possono avere?

COSA SONO LE NUVOLE

Le nuvole sono insiemi di piccole gocce d'acqua condensata, o cristalli di ghiaccio, che viaggiano galleggiando nell'atmosfera. Queste gocce sono talmente piccole, con un diametro di circa un centesimo di millimetro, che ogni metro cubo di aria ne contiene circa cento milioni.

Le nubi sono manifestazioni dei movimenti verticali e orizzontali dell'aria. La loro origine più semplice comincia quando, grazie ai raggi solari, l'acqua di mari, laghi e fiumi evapora a contatto con l'atmosfera.

Quest'aria calda e umida, come abbiamo visto, è molto leggera e tende a salire verso l'alto, con l'aumento dell'altitudine cala la temperatura e l'aria si raffredda gradualmente. Visto che l'aria fredda è in grado di trattenere meno vapore acqueo di quella calda, quest'ultimo condensa passando dallo stato gassoso a quello liquido ed ecco che si forma una nuvola.

Il perché le nubi galleggino in aria invece di cadere al suolo si spiega sempre con il famigerato principio di Archimede (vedi

pagina 28), ovverosia col fatto che queste hanno una densità inferiore rispetto all'aria in cui sono immerse.

A parità di volume, infatti, l'aria secca pesa più di quella umida, poiché le particelle d'acqua sono meno pesanti delle molecole di azoto e di ossigeno che vanno a sostituire.

E la pioggia, invece? Capita quando, all'interno di una nuvola e a causa di perturbazioni nell'atmosfera, le gocce d'acqua si urtano e cominciano a unirsi tra loro. Queste gocce, sempre più grandi e pesanti, a un certo punto non sono più sostenute dall'aria e cadono verso il terreno. Lo stesso principio vale per la neve, nel caso in cui la temperatura sia intorno allo zero.

OGNI NUVOLA HA IL SUO NOME

Chi non ha mai passato un po' di tempo disteso a guardare le nubi, scorgendovi forme strane? Lo stesso fanno gli scienziati, mettendo però da parte il romanticismo e dando loro nomi precisi per poterle studiare.

Così facendo, le hanno divise in due grandi classi, *cumuliformi* e *stratiformi*, a seconda del moto ascensionale dell'aria durante la formazione di una nube.

Se, dopo la fase di condensazione, il movimento verso l'alto si interrompe, allora avremo una nuvola più sviluppata in senso orizzontale (stratiforme). Al contrario, se il vapore condensato continua a salire, la nuvola si svilupperà in senso verticale (cumuliforme).

In base alla loro altezza, inoltre, si potranno definire come nubi *basse* (entro 2 chilometri), *medie* (tra 2 e 6 chilometri) e *alte* (oltre 6 chilometri). Come riconoscere i vari tipi di nuvole? Basta guardare la figura 7 e leggerne qui di seguito le caratteristiche.

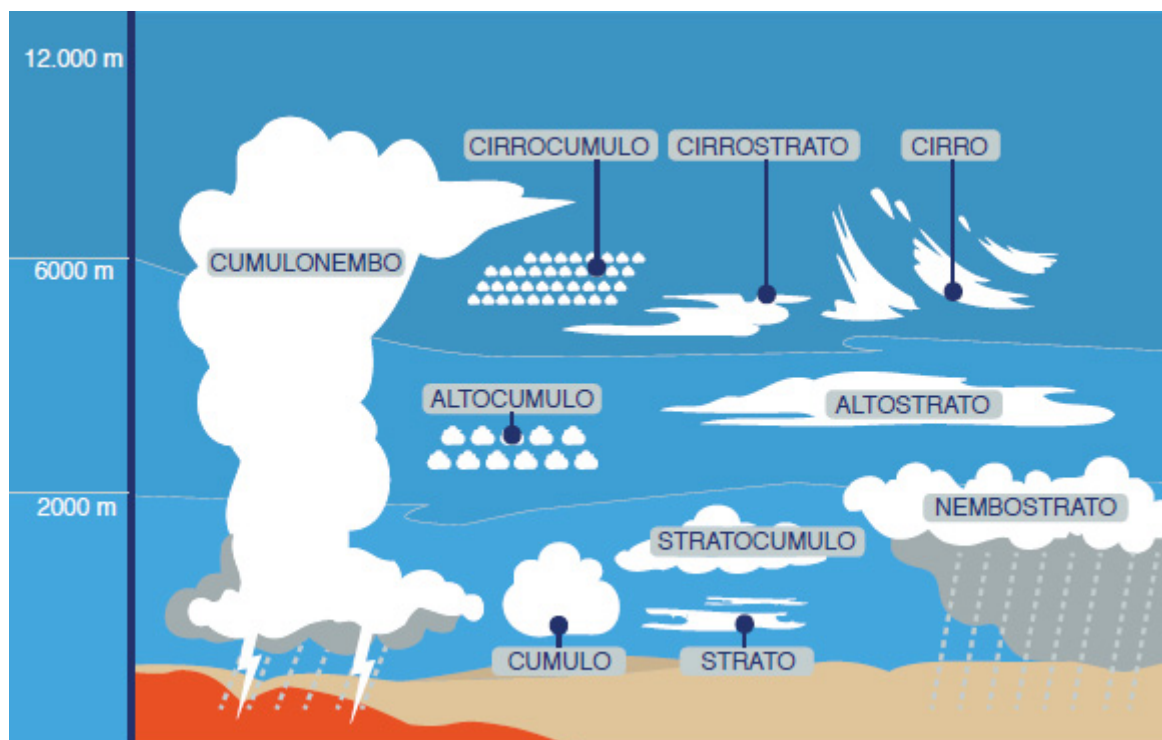



FIGURA 7 – NUVOLE

LE NUBI BASSE

Stratocumuli: sono distese di nuvole tra il bianco e il grigio scuro, formate da grandi elementi tondeggianti, che solitamente non portano precipitazioni.

Strati: sono molto basse, hanno un colore grigio e possono dare origine a pioviggine o nevischio e, quando ci immaginiamo una giornata nuvolosa, abbiamo in mente proprio queste nuvole.

Cumuli: sono composte da una base piatta e orizzontale, che si sviluppa verso l'alto, la loro testa può somigliare a un cavolfiore e sono di un bianco splendente, se illuminate dal sole.

LE NUBI MEDIE

Altostrati: di colore bianco opaco o traslucido, possono essere nubi molto spesse e generalmente portano lievi piogge.

Altocumuli: sono un'ampia distesa di nubi a fiocchi tondeggianti, come un grande campo di ovatta e spesso hanno ombre proprie.

Nembostrati: hanno grande sviluppo orizzontale, di colore grigio-nero e dai contorni sfumati e sono le classiche nuvole cariche di pioggia.

LE NUBI ALTE

Cirri: il loro nome deriva dal latino e significa “ciuffi”, sono nubi bianche ondulate e sottili, a forma di ricciolo e composte da cristalli di ghiaccio.

Cirrostrati: hanno la stessa natura dei cirri, ma sono formati da un velo continuo traslucido che copre il cielo.

Cirrocumuli: sono una distesa di piccole nuvole bianche, descrivibile come il classico “cielo a pecorelle”; ognuna è formata da cristalli di ghiaccio.

IL CUMULONEMBO

È una nuvola decisamente eccezionale. La sua base, infatti, si trova nella regione delle nubi basse, mentre la sua sommità è in compagnia di quelle alte: vedendola da lontano appare come una torre che si staglia verso il cielo, ma la sua cima si distribuisce poi in orizzontale. Si tratta di una classica nuvola temporalesca, caratterizzata da tuoni e fulmini.

UN TEMPORALE ESTIVO ALL’IMPROVVISO

Compare a sorpresa e ci fa tornare a casa zuppi d’acqua. Chi si aspetta la pioggia, quando al mattino il cielo appare completamente sereno? Ebbene, è proprio il sole cocente a rendere possibile un temporale estivo. In montagna, in città e in campagna ci siamo abituati, mentre in spiaggia è meno frequente. La roccia, il suolo cittadino o un campo arato, infatti, assorbono con più facilità il calore del sole e nel corso della giornata continueranno ad accumularlo, riscaldando l’aria che li sovrasta e spingendola verso l’alto. Incontrando minore temperatura e pressione, il vapore acqueo può condensare, fino a diventare una nuvola, e qualora le condizioni dell’atmosfera siano favorevoli ad accelerare verso l’alto la salita dell’aria, la nube continuerà a svilupparsi, diventando un temporalesco cumulonembo. Pertanto, è meglio controllare le previsioni meteo anche d’estate: se c’è bel tempo al mattino, non è detto che nel pomeriggio non possa piovere.

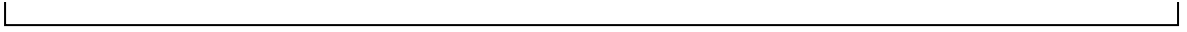
QUANDO ARRIVANO LE STELLE CADENTI

La notte di San Lorenzo, il 10 agosto, in molti restano ore con il naso all'insù, sperando di vedere una stella cadente. La spiaggia è il luogo ideale per osservarle. C'è chi prova a esprimere un desiderio, altri invece si accontentano di assistere a un affascinante fenomeno naturale.

Tuttavia, non cade realmente una stella e la scia che vediamo nel cielo e che chiamiamo *stella cadente*, in realtà, è un frammento di materia – in gergo tecnico un *meteoride* – che, entrando nell'atmosfera ad altissima velocità, prende fuoco e si consuma rapidamente. È una *meteora*: mostra la sua gloria in un attimo e poi sparisce.

Come insegnano i migliori film di fantascienza, arrivare sul nostro pianeta dallo spazio non è uno scherzo. Un meteoride (o un qualsiasi altro oggetto) che entra nella nostra atmosfera, infatti, subisce le conseguenze dell'impatto con l'aria: le molecole di gas che gli sono di fronte sono sottoposte a una fortissima pressione, che le riscalda insieme alla stessa roccia dell'oggetto. Con l'aumentare della temperatura, il detrito si infiamma e comincia a sublimare, passando da uno stato solido a uno gassoso: in questo modo, la roccia si consuma rapidamente, lasciando dietro di sé soltanto una scia luminosa (la meteora). Se il frammento è abbastanza grande, invece, nonostante perda gran parte della propria massa, arriva a precipitare sulla terra e questo è ciò che chiamiamo *meteorite*, come ricorderà chi ha visto le immagini dell'ultima e spettacolare "pioggia" verificatasi in Russia nel febbraio 2013.

Eventi distruttivi come la pioggia di meteoriti russa sono difficili da prevedere, mentre sappiamo bene quando guardare il cielo nella speranza di trovare delle stelle cadenti. La spiegazione viene dalla loro origine. Questi frammenti, infatti, provengono dai detriti lasciati dalla scia di una cometa che ha attraversato il sistema solare e, quando la Terra finisce in questa scia, i residui precipitano nell'atmosfera. Gli sciami di meteore che conosciamo capitano sempre nello stesso periodo dell'anno: le stelle cadenti che si vedono a San Lorenzo, per esempio, fanno capolino tra la fine di luglio e il 20 agosto, con un picco intorno al 12. Si tratta dei resti della cometa Swift-Tuttle, che ciclicamente visita la nostra porzione di galassia e il cui ultimo passaggio risale al 1992, mentre il prossimo sarà nel 2126.

Ognuno degli sciami ha un suo nome: ad agosto ci sono le Perseidi, a novembre le Leonidi, a dicembre le Geminidi. La loro denominazione dipende dal punto del cielo da cui sembrano provenire, e rispettivamente dalla costellazione di Perseo, del Leone e dei Gemelli. Quali sono le condizioni ideali per godere a pieno dello spettacolo celeste? Un luogo buio, al riparo dall'inquinamento luminoso, e l'assenza della Luna in cielo.

IL MARE IN TEMPESTA

Tuoni assordanti, fulmini che illuminano il cielo, potenti onde e vento che trascina tutto via con sé. Assistere a una tempesta, che sia in mare aperto o vicino alla riva, è spaventoso: le forze della natura sono all'opera e l'essere umano non può che restare a guardare.

Pertanto, meglio sapere come nasce una perturbazione atmosferica, per prendere le dovute precauzioni.

LA FORZA DEI VENTI

Brezza, bava, burrasca, uragano: come riconoscere le condizioni atmosferiche in mezzo al mare? Lo si può fare grazie all'ammiraglio inglese Francis Beaufort, che stilò una scala per categorizzare la forza del vento. Curiosamente, questa fu usata per la prima volta negli anni trenta dell'Ottocento, a bordo del Beagle, la stessa imbarcazione che portò il giovane Charles Darwin in giro per il mondo. La scala Beaufort è nata come una misura empirica dell'intensità del vento guardando lo stato del mare o delle onde (vedi tabella 2). Le increspature sulla superficie del mare che si presentano con una forma a squama di pesce, per esempio, sono tipiche della bava, un debole vento che arriva a soffiare fino a 6 chilometri orari. Ben altra cosa sono i cavalloni con le creste imbiancate di schiuma dal vento fresco che soffia a 40-50 chilometri orari.

NUMERO DI BEAUFORT	VELOCITA DEL VENTO nds I km/h		DESCRIZIONE	ALTEZZA ONDE m	CONDIZIONI DEL MARE	CONDIZIONI A TERRA
0	0	0	Calmo	0	Piatto	Il fumo sale verticalmente
1	1-3	1-6	Bava di vento	0,1	Leggere increspature sulla superficie somiglianti a squame di pesce. Ancora non si formano creste bianche di schiuma	Movimento del vento visibile dal fumo
2	4-6	7-11	Brezza leggera	0,2	Onde minute, ancora molto corte ma ben evidenziate. Le creste non si rompono ancora, ma hanno aspetto vitreo	Si sente il vento sulla pelle nuda. Le foglie frusciano
3	7-10	12-19	Brezza tesa	0,6	Onde con creste che cominciano a rompersi con schiuma di aspetto vitreo. Si notano alcune "pecorelle" con la cresta bianca di schiuma	Foglie e rami più piccoli in movimento costante
4	11-16	20-29	Vento moderato	1	Onde con tendenza ad allungarsi. Le "pecorelle" sono più frequenti	Sollevamento di polvere e carta. I rami sono agitati
5	17-21	30-39	Vento teso	2	Onde moderate dalla forma che si allun-ga. Le pecorelle sono abbondanti e c'è possibilità di spruzzi	Oscillano gli arbusti con foglie. Si formano piccole onde nelle acque interne
6	22-27	40-50	Vento fresco	3	Onde grosse (cavalloni) dalle creste imbiancate di schiuma. Gli spruzzi sono probabili	Movimento di grossi rami. Difficoltà a usare l'ombrello
7	28-33	51-52	Vento forte	4	I cavalloni si ingrossano.La schiuma formata dal rompersi delle onde viene "soffiata" in strisce nella direzione del vento	Interi alberi agitati. Difficoltà a camminare contro vento
8	34-40	63-75	Burrasca	5,5	Onde alte. Le creste si rompono e creano spruzzi vorticosi che vengono risucchiati dal vento	Ramoscelli strappati dagli alberi. Generalmente è impossibile camminare contro vento
9	41-47	76-87	Burrasca forte	7	Onde alte con le creste che iniziano ad arrotolarsi. Strisce di schiuma che si fanno più dense	Leggeri danni alle strutture (camini e tegole asportati)
10	48-55	88-102	Tempesta	9	Onde molto alte sormontate da creste (marosi) molto lunghe. Le strisce di schiu-ma tendono a compattarsi e il mare ha un aspetto biancastro. I frangenti sono molto più intensi e la visibilità è ridotta	(Rara in terraferma) Sradicamento di alberi. Considerevoli danni strutturali
11	56-63	103-117	Tempesta violenta	11,5	Onde enormi che potrebbero anche nascondere alla vista navi di media stazza. Il mare è tutto coperto da banchi di schiuma. Il vento nebulizza la sommità delle creste e la visibilità è ridotta	Vasti danni strutturali
12	> 63	>117	Uragano	>14	Onde altissime; aria piena di schiuma e spruzzi, mare completamente bianco	Danni intensi ed estesi alle strutture

TABELLA 2 - LA SCALA DI BEAUFORT

In questo modo, Beaufort descrisse il mare dalla calma al vento forte, passando per bava e brezza, fino ad arrivare a burrasca, tempesta e uragano.

CICLONI? PRENDETE L'OMBRELLO

Sentiamo spesso i loro nomi quando ascoltiamo le previsioni del tempo: sono i *cicloni* e gli *anticicloni* che passano sopra le nostre latitudini, i primi portano nuvole e piogge, i secondi sole. Ma cosa sono davvero?

Visti dal satellite, gli *anticicloni* si mostrano come belle ellissi vuote circondate da nubi. Al loro centro si trova un'area di alta pressione dove l'aria, compressa, diventa più calda e dissolve le nuvole, causando modeste variazioni meteorologiche e portando venti deboli, insomma generalmente bel tempo, sebbene possano innescare anche nebbia in inverno e temporali in estate.

I *cicloni extratropicali*, al contrario, sono aree di bassa pressione che causano perturbazioni atmosferiche e dallo spazio

si possono riconoscere per la presenza di nubi e per la loro forma, che tende a una spirale. La loro nascita, chiamata *ciclogenesi extratropicale*, è un processo complesso che avviene solitamente al confine tra la cella polare e quella di Ferrel. Un ciclone si crea quando due masse d'aria, l'una fredda e l'altra calda, si sfiorano viaggiando in direzione opposta.

COME SI FORMA UN URAGANO

La nascita di un *ciclone tropicale*, invece, riguarda una singola massa d'aria calda e umida. Questa depressione, che si crea nelle celle di Hadley (vedi pagina 170), può trasformarsi prima in *tempesta tropicale* (con venti che soffiano tra i 60 e i 120 chilometri orari) e poi in *uragano* (con raffiche che superano i 120 chilometri orari). Quando l'aria che contiene la perturbazione viene riscaldata sopra le acque tropicali che hanno una temperatura superiore ai 26 °C, si iniziano a formare venti in senso circolare e particelle di aria calda e umida cominciano a salire verso l'alto. È in questo momento che inizia la condensazione, si formano le nuvole e prende avvio la tempesta. L'occhio del ciclone, come si vede dal satellite, resta calmo, mentre al suo esterno si sviluppano a spirale fronti tempestosi. Il centro della perturbazione è il vero motore da cui parte l'azione: l'aria calda e carica d'acqua continua a salire, alimentando la formazione di nuove nubi e forti venti e finché resta sul mare, il ciclone continuerà a crescere, fino a trasformarsi in un uragano. Grazie a quanto sappiamo sul comportamento dell'atmosfera possiamo indovinare la traiettoria di un uragano: si formerà intorno all'equatore, dove l'acqua è più calda, e viaggerà, seguendo la forza di Coriolis, in direzione dei tropici (verso ovest nell'emisfero boreale e verso est in quello australe); poi, una volta arrivato sulla terraferma, non avendo più aria calda ad alimentarlo, si esaurirà lentamente diminuendo in potenza.

CI SONO URAGANI NEL MEDITERRANEO?

Anche nel mar Mediterraneo possono svilupparsi cicloni di tipo tropicale. Il loro nome è *Medicane* e si tratta sempre di perturbazioni con un occhio privo di nuvole, delimitato da venti molto intensi e nubi

temporalesche. La loro nascita è uguale a quella dei cugini tropicali: è necessaria una differenza di temperatura tra una massa d'aria fredda sopra acque relativamente calde.

In genere si formano nel tardo autunno, quando le acque superficiali toccano i 26 °C e l'aria invece è fredda, ma la loro forza raramente rientra nella categoria degli uragani.

I FULMINI IN SPIAGGIA

Un'ampia distesa senza ostacoli e un mezzo che conduce bene l'elettricità: queste sono le condizioni ideali per essere colpiti da un fulmine, ecco perché in spiaggia bisogna fare attenzione ai temporali. Un fulmine, infatti, è una semplice corrente elettrica che fluisce liberamente tra la nuvola e la superficie terrestre. È la dura legge dell'elettromagnetismo, per la quale tra due oggetti con diverso potenziale elettrico scorre una corrente. Anche una nuvola temporalesca (cumulonembo) può essere divisa tra il dorso carico positivamente e il ventre negativo, e durante il suo passaggio crea sul terreno una carica di segno positivo. L'aria, presa nel mezzo, viene ionizzata (le sue cariche negative e positive si separano), favorendo la sua conducibilità e il conseguente innesco di una scarica.

Dove cadrà, però, il fulmine? Gli oggetti appuntiti e sollevati dal suolo sono i candidati più probabili, perché l'elettricità segue il percorso più breve dalla nuvola al terreno. In una spiaggia, un luogo solitamente ampio e piano, le persone in piedi e gli ombrelloni corrono un rischio maggiore. Ancora peggio se si è in mare: l'acqua salata conduce bene la corrente elettrica e anche se il fulmine non ci colpisce direttamente, la scarica potrebbe propagarsi e colpirci.

I RIFIUTI IN SPIAGGIA

Sono intorno a noi, anche in spiaggia. Sono i rifiuti, tutti quei resti che rischiamo di lasciarci dietro durante una vacanza in una splendida località marittima. Un luogo che possiamo rovinare non facendo attenzione alla carta del panino che abbiamo mangiato, alla bottiglia d'acqua da cui abbiamo bevuto, o alla busta di plastica che li conteneva. Questi stessi rifiuti possono essere letali per la vita marina.

RIFIUTI OVUNQUE

Vetro, plastica, tessuti, ceramica, metallo. Sono tutti prodotti elaborati dall'uomo che non si troverebbero naturalmente in riva al mare. Possono essere stati trascinati in acqua da giganteschi cargo che solcano gli oceani, oppure da una tempesta che ha spazzato la costa; altre volte siamo noi ad aver lasciato i resti del nostro pranzo in spiaggia e il vento, le onde o la marea, magari, li hanno fatti arrivare fino in mare. In balia delle correnti, non possiamo sapere dove arriveranno i nostri rifiuti, basta pensare al celebre carico di paperelle di gomma disperso nel 1992: alcuni di questi giocattoli girano ancora per il mondo (vedi pagina 50).

Grazie alla circolazione negli oceani, infatti, i rifiuti possono distribuirsi in tutto il pianeta. Una bottiglia di plastica gettata in Canada, può tranquillamente essere ritrovata sulle coste della Scozia, oppure raggiungere una delle isole di rifiuti che si trovano al centro dei grandi giri oceanici. La più famosa (e grande) tra queste si trova nel Pacifico del Nord, un punto al riparo dalle grandi correnti che ospita milioni di tonnellate di rifiuti.

I prodotti creati dall'uomo sono ovunque: sulla superficie del mare, quando galleggiano, nell'intera colonna d'acqua, trasportati

dalle correnti verso l'alto o il basso e sui fondali a qualunque profondità. I 7 miliardi di tonnellate che ogni anno riversiamo in mare – una stima che forse si dovrebbe rivedere al ribasso – resteranno lì per molto tempo. Un fazzoletto di carta, per esempio, impiega tre mesi per degradarsi, contro i cinque anni della carta plastificata e di un mozzicone di sigaretta; un giornale può arrivare a un anno, mentre una gomma da masticare impiega cinque anni. Una lattina? Diverse centinaia di anni. La plastica, invece, che in alcuni luoghi rappresenta il 90-95 per cento del totale dei rifiuti, si degrada in circa un migliaio di anni. Il vetro, infine, ha tempi ancora più lunghi e poco prevedibili.

Ai materiali creati dall'uomo, chiaramente, si aggiungono anche i rifiuti organici: per un torsolo di mela si può arrivare a sei mesi, mentre per una buccia di banana a due anni. Per non parlare invece dei rifiuti fecali, che possono trasmettere malattie (vedi pagina 71).

IL COSTO DEI RIFIUTI

Ogni rifiuto che vaga in mare ha un costo. Anzitutto è pericoloso per la vita marina, poiché gli animali possono restarvi intrappolati, impedendo i loro movimenti (e quindi il nuoto) e rischiando di soffocarli. Questo vale sia per i classici anelli delle confezioni da sei lattine, sia per le reti fantasma e altri accessori per la pesca ormai abbandonati.

Un semplice sacchetto di plastica, invece, può essere scambiato per una preda da una tartaruga marina, visto che somiglia a una medusa. Che dire, invece, dei piccoli granuli di plastica che sembrano uova? Un uccello marino non esiterà a darli da mangiare ai propri piccoli, peccato però che si possano accumulare nell'organismo, bloccando il tratto intestinale, restando nello stomaco e dando un falso senso di sazietà all'animale.

L'ingestione di oggetti acuminati come frammenti di vetro o metallo, invece, può provocare ferite e causare infezioni. Gli stessi rifiuti provocano danni anche al fondale marino: pensate a una rete che, lasciata in mare, trascina tutto via con sé spinta dalla corrente.

L'impatto, però, non riguarda solamente la vita marina e la catena alimentare, perché i rifiuti sono anche un costo economico e sociale. Un mare colmo di rifiuti rovina un bene comune di cui tutti possono godere e danneggia il turismo. I detriti galleggianti, inoltre, aumentano il rischio di incidenti durante la navigazione e ripulire il mare, infine, è una procedura difficile e molto costosa. A tal proposito, l'associazione Legambiente organizza ogni anno l'operazione *Spiagge e fondali puliti*, che consiste in fine settimana dedicati a raccogliere i rifiuti per il bene di tutti.

Rimboccarsi le maniche è ammirevole, ma si deve anzitutto eliminare il problema all'origine, cercando di non sporcare: la prossima volta che andate in spiaggia, quindi, ricordate di non lasciare alcuna traccia dietro di voi. E, se volete essere ecologicamente irreprensibili, buttate i rifiuti in modo differenziato.

PERCHÉ LA PLASTICA DURA COSÌ TANTO

Siamo circondati dalla plastica. Provate a guardarvi intorno, per capire quanto sia importante nelle nostre vite. È uno dei materiali più geniali che siano stati inventati, ma ha un grande limite: è talmente resistente da non degradarsi prima di un migliaio di anni. Perché?

Anzitutto, partiamo dalle basi: la plastica comune deriva dal petrolio ed è formata da lunghe molecole organiche (*polimeri* che contengono carbonio), composte da singole sequenze di molecole ripetute (*monomeri*). A seconda dei monomeri usati, i chimici possono ottenere diversi tipi di plastica con particolari caratteristiche. Una delle forme più conosciute è il *polietilene tereftalato* (PET), di cui sono fatte le bottiglie di plastica. La sua formula? Una lunga catena di un monomero base formato da carbonio, idrogeno e ossigeno ($C_{10}H_8O_4$). Questo materiale è termoplastico, il che significa che se riscaldato, si può rimodellare con facilità (e quindi riciclare). Altre plastiche, invece, sono termoindurenti, ovvero una volta ottenuta una certa forma, se vengono riscaldate nuovamente si carbonizzano.

Il motivo per cui la plastica è alquanto durevole è insito nella sua struttura: la maggior parte dei materiali plastici, infatti, è chimicamente inerte, il che significa che non interagisce con gli elementi con cui viene a contatto. A ben pensarci, le sostanze più pericolose che spesso abbiamo in casa, come l'acido muriatico o l'ammoniaca, sono contenute proprio in resistenti bottiglie di plastica. Un vantaggio che diventa un difetto nel

momento in cui lasciamo questo materiale in natura: sarà difficile distruggerlo.

RINGRAZIAMENTI

È strano guardarsi indietro e pensare al turbinio che ha portato alla scrittura di questo libro. Tanti sono i percorsi nella sabbia che mi hanno portato qui, ma il primo motore restano i miei genitori, Valeria Troi e Paolo Gentile, con il loro dono: una curiosità innata per la scienza che si nasconde attorno a noi.

L'ispirazione più concreta de La scienza sotto l'ombrellone, invece, arriva dalle spiagge assolate della Grecia, dove Gianluca Melandri ascoltava incuriosito i miei racconti scientifici. È grazie a lui che nella mia mente è cresciuta l'idea che ha trovato forma in queste pagine.

Ma non sareste qui a leggere queste parole senza i consigli e lo sprone di Davide Coero Borga, il primo a sostenere questo progetto. Al suo fianco, una schiera di amici scienziati e comunicatori che hanno riletto pagine e pagine, chiarendomi fenomeni altrimenti misteriosi: Emanuela Bianchi, Giulia Rocco, Roberta Alessandroni, Alice Pace e Adrian Ostric.

Non può mancare la mia famiglia milanese, ormai allargata, che ha saputo sempre lenire la nostalgia di casa: Barbara Giulia Visentin, Alessandro Foletto, Andrea Curiat, Eugenia Burchi e la piccola Eva. Con voi al fianco tutto è più leggero.

Un ringraziamento anche a tutta la squadra di “Wired Italia”, un ambiente dove alla leggerezza e alle risate si accompagna una grande professionalità. In particolare a Massimo Russo, che ci rende orgogliosi di lavorare a “Wired”, e a Federico Ferrazza, cui vanno la mia profonda stima e gratitudine per tutto quel che mi ha insegnato in questi anni.

Un sincero e sentito grazie alle persone che in Codice mi hanno accompagnato durante questo viaggio: a Stefano Milano per la disponibilità e l'entusiasmo, a Enrico Casadei per il necessario (e sempre gentile) fiato sul collo, a Giovanna Bova, attenta a ogni mio periodo sbilenco, e ad Alessandro Damin, per le sue illustrazioni magistrali. Infine a Vittorio Bo, che ha creduto in questo libro e ne ha resa possibile la pubblicazione.